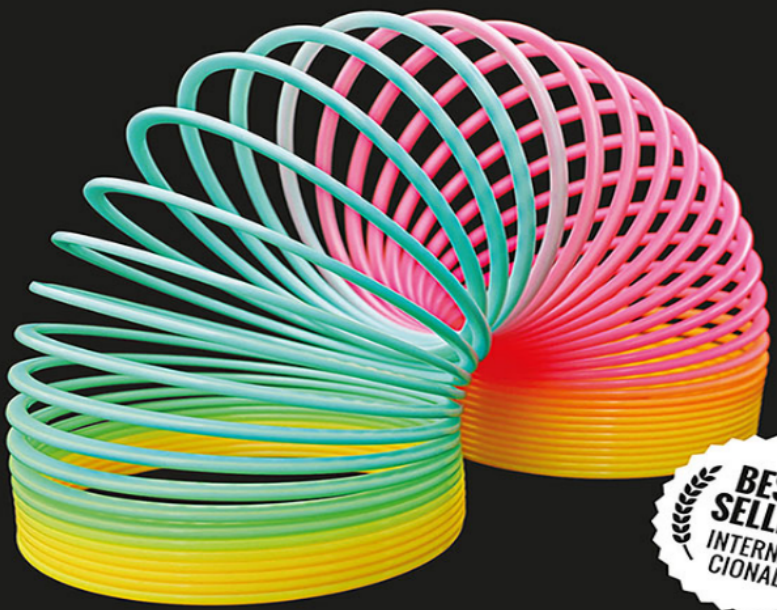
Donella Meadows

PENSAR EN SISTEMAS



Capitán Swing

BEST SELLER INTERNACIONAL

Un manual de iniciación

PENSAR EN SISTEMAS

Un manual de iniciación

Donella Meadows

Traducción de

Jaime Blasco

Capitán Swing

Nota de la autora

Este libro es una síntesis de los conocimientos que han acumulado en los últimos treinta años en el ámbito de la creación de modelos sistémicos y en el de la docencia de la teoría de sistemas un sinfín de profesionales creativos, agrupados en su mayoría en torno al grupo System Dynamics del MIT o influidos por las teorías de este colectivo. La figura más destacada es sin duda Jay Forrester, el fundador del grupo. Mis profesores (y mis alumnos, que con el tiempo se han convertido en mis profesores) han sido, además de Jay, Ed Roberts, Jack Pugh, Dennis Meadows, Hartmut Bossel, Barry Richmond, Peter Senge, John Sterman y Peter Allen, pero el lenguaje, las ideas, los ejemplos, las citas, los libros y la sabiduría tradicional que aparecen en este libro proceden de una comunidad intelectual más amplia. Me gustaría expresar mi admiración y mi gratitud a todos sus miembros.

Además, he encontrado inspiración en pensadores de distintas disciplinas que, hasta donde alcanza mi conocimiento, jamás han utilizado un ordenador para simular un sistema, pero que, a mi modo de ver, poseen un instinto natural para la teoría de sistemas, como Gregory Bateson, Kenneth Boulding, Herman Daly, Albert Einstein, Garrett Hardin, Václav Havel, Lewis Mumford, Gunnard Myrdal, E. F. Schumacher, algunos ejecutivos de empresas modernas y numerosas fuentes anónimas de la sabiduría antigua, desde los nativos americanos a los sufíes de Oriente Medio. Quizá parezcan unos compañeros de viaje relativamente insólitos, pero la teoría de sistemas trasciende las disciplinas y las culturas y, cuando se practica correctamente, desafía también los límites de la historia.

Y después de hablar de la trascendencia, me gustaría dejar constancia del faccionalismo. Los analistas de sistemas utilizan conceptos globales que trascienden las disciplinas, pero poseen una personalidad absolutamente humana, lo que significa que han formado numerosas escuelas rivales de pensamiento sistémico. En este libro, he utilizado el lenguaje y los símbolos de la dinámica de sistemas, la escuela en la que yo me formé. Y me limitaré a presentar la teoría de sistemas clásica, dejando de lado las corrientes de vanguardia. Nunca utilizo las teorías más abstractas y solo me interesan esos análisis cuando se pueden aplicar a la solución de problemas reales. Cuando las expresiones más abstractas de la teoría de sistemas sirvan para ello, algo que estoy convencida de que sucederá algún día, habrá que escribir otro libro.

Por tanto, estáis advertidos de que este libro, como todos, es un libro imparcial e incompleto. La teoría de sistemas es un campo

muchísimo más amplio de lo que se presenta aquí, y os invito a que lo descubráis si estáis interesados. Uno de mis propósitos es, precisamente, despertar vuestro interés. Otro, el más importante, dotaros de una capacidad básica para entender los sistemas complejos y enfrentarse a ellos, aun cuando vuestra formación en este ámbito empiece y termine con este libro.

DONELLA MEADOWS, 1993

Nota de la editora

En 1993, Donella (Dana) Meadows terminó de escribir el borrador del libro que el lector tiene ahora en sus manos. El manuscrito no llegó a publicarse en aquella ocasión, pero circuló de manera oficiosa durante años. Dana murió inesperadamente en 2001, antes de terminar este libro. En los años que han transcurrido desde su muerte, se ha puesto de manifiesto que su obra ha seguido ejerciendo una influencia determinante en una amplia variedad de lectores. Dana era científica y escritora, y una de las mejores divulgadoras que ha dado el campo de la teoría de sistemas.

En 1972, Dana escribió, en colaboración con otros autores, *Los límites del crecimiento*, un auténtico éxito de ventas que se tradujo a numerosas lenguas. Hoy en día todo el mundo reconoce que las advertencias recogidas en ese libro representan una fiel descripción del caos que pueden llegar a provocar en nuestro planeta las pautas de conducta no sostenibles si no se controlan. La prensa mundial se hizo eco de las ideas que se defendían en esta obra, que afirmaba que el crecimiento constante de la población y del consumo acabaría dañando gravemente a los ecosistemas y a los sistemas sociales que permiten la vida en la Tierra, y que, con el tiempo, el impulso del crecimiento económico ilimitado provocaría alteraciones en numerosos sistemas locales, regionales y globales. En el momento actual, cuando el petróleo está a punto de agotarse, cuando tenemos que lidiar con la cruda realidad del cambio climático y observamos cómo una población de 6 600 millones de personas se enfrenta a las catastróficas consecuencias del crecimiento físico, las tesis de Meadows vuelven a ocupar las primeras páginas de los periódicos.

Dana nos ayudó a comprender, en una palabra, que necesitamos dar un giro radical a nuestra visión del mundo y de los sistemas que lo integran para corregir nuestra trayectoria. Hoy en día, todo el mundo acepta que la teoría de sistemas es una herramienta decisiva para abordar los numerosos desafíos medioambientales, sociales y económicos a los que nos enfrentamos en todo el mundo. Los sistemas, ya sean grandes o pequeños, pueden comportarse de manera similar, y comprender su funcionamiento es quizá nuestra mayor esperanza para provocar cambios duraderos en distintos niveles. Dana escribió este libro para dar a conocer esa idea a un público más amplio, y por eso mis colegas del Sustainability Institute y yo decidimos que había llegado el momento de publicar su manuscrito a título póstumo.

¿Puede un libro más ayudar al mundo y ayudarte a ti, lector? Yo creo que sí. Puede que este libro caiga en manos de un trabajador o de

un empresario que se esfuerza por comprender qué puede hacer su empresa o su organización para provocar un cambio que nos permita avanzar hacia un mundo mejor. O en manos de un responsable político que observa cómo otros políticos «rechazan» sistemáticamente sus buenas ideas e intenciones. O en manos de un gestor que ha trabajado duro para solucionar algunos problemas importantes en su compañía o en su comunidad y, una vez solventados, descubre que surgen nuevas dificultades. O en manos de una persona que quiere cambiar el funcionamiento de una sociedad (o de una familia); cambiar sus valores y las cosas que esa sociedad considera necesario proteger, y de pronto observa que, por culpa de un puñado de reacciones apresuradas, se han echado a perder muchos años de progreso. O de un ciudadano que vive en una sociedad cada vez más global y, sencillamente, se siente frustrado por lo difícil que resulta dejar una huella positiva y perdurable en el mundo.

En todos esos casos, creo que este libro puede ser una ayuda. Aunque podemos encontrar montones de libros sobre la «modelización» y la «teoría de sistemas», aún no se ha escrito un libro estimulante y accesible que describa nuestra relación con los sistemas. Un libro que explique por qué a veces nos deparan tantas sorpresas y cómo aprender a gestionarlos y a rediseñarlos mejor.

En la época en que Dana estaba escribiendo *Pensar en sistemas*, acababa de terminar su libro *Beyond the Limits* [Más allá de los límites], una actualización de *Los límites del crecimiento*. Había recibido una beca Pew de Conservación y Medio Ambiente, colaboraba con el Comité de Investigación y Exploración de la National Geographic Society e impartía clases de teoría de sistemas, medio ambiente y ética en el Dartmouth College. En todas sus facetas profesionales, estaba totalmente involucrada en los acontecimientos de su época. Para ella, esos sucesos eran el comportamiento externo de sistemas extremadamente complejos.

Aunque el manuscrito original de Dana ha sido corregido y reestructurado, muchos de los ejemplos que encontrarán en este libro pertenecen a su primer borrador de 1993. Puede que les parezcan un poco desfasados, pero he decidido conservarlos, porque pienso que las conclusiones que se pueden extraer de ellos son tan relevantes ahora como lo eran entonces. En esa época, a principios de los años noventa, tuvo lugar la disolución de la Unión Soviética y se produjeron numerosos cambios en otros países socialistas. Se firmó el Tratado de Libre Comercio de América del Norte. El ejército de Irak invadió Kuwait y después se retiró, quemando campos de petróleo en su huida. Nelson Mandela salió de la cárcel y se derogaron las leyes del *apartheid* en Sudáfrica. El líder sindicalista Lech Walesa ganó las elecciones presidenciales en Polonia y el poeta Václav Havel, en

Checoslovaquia. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático publicó su primer informe de evaluación, en el que se concluía que «las emisiones derivadas de las acciones humanas están contribuyendo al incremento considerable de la concentración de gases de efecto invernadero y esto favorecerá el efecto invernadero y tendrá como consecuencia un calentamiento adicional de la superficie de la Tierra». La ONU organizó un congreso sobre medio ambiente y desarrollo en Río de Janeiro.

En esta época, cada vez que tenía que viajar para acudir a una reunión o a un congreso, Dana leía el *International Herald Tribune*. En tan solo una semana, fue capaz de encontrar en este periódico un sinfín de ejemplos de sistemas que precisaban una mejor gestión o una reestructuración radical. Y los encontró porque los sistemas están por todas partes, en el mundo que nos rodea. Una vez que descubrimos que los sucesos diarios forman parte de una serie de tendencias, y que esas tendencias son síntomas que revelan la existencia de una estructura sistémica subyacente, podemos buscar nuevas formas de gestionar este mundo de sistemas complejos y de vivir en él. Espero que la publicación del manuscrito de Dana sirva para incrementar la capacidad de comprensión del lector, para animarle a debatir sobre los sistemas que nos rodean y a actuar para impulsar un cambio positivo.

Espero que esta breve y accesible introducción a los sistemas y a las teorías a las que han dado lugar se convierta en una herramienta útil en un mundo que necesita cambiar los comportamientos que surgen de sistemas profundamente complejos. Este es un libro sencillo que habla de un mundo complejo y va dirigido a quienes viven en él. Un libro para quienes aspiran a construir un futuro mejor.

DIANA WRIGHT, 2008

PENSAR EN SISTEMAS

Un manual de iniciación

Para Dana (1941–2001)
y para todos los que pueden
aprender de ella

«Si se derriba una fábrica, pero se deja en pie la racionalidad que la produjo, entonces esta racionalidad producirá otra fábrica, sencillamente. Si una revolución derroca un gobierno, pero las pautas sistemáticas de pensamiento que produjeron ese gobierno se dejan intactas, entonces esas pautas se repetirán […]. Se habla mucho del sistema. Pero se entiende muy poco».

Robert Pirsig
Zen and the Art of Motorcycle Maintenance

Introducción

La lente de los sistemas

«Los gestores no se enfrentan a problemas aislados, sino a situaciones dinámicas integradas por sistemas complejos de problemas que cambian e interactúan entre sí. Yo llamo a este tipo de situaciones "embrollos" […]. Los gestores no solucionan problemas, gestionan embrollos».

RUSELL ACKOFF, teórico de operaciones[1]

Desde que empecé a impartir clases de teoría de sistemas, tengo por costumbre utilizar un Slinky para ayudarme en mis explicaciones. Quienes no tuvisteis uno de estos juguetes en vuestra infancia, sabed que se trata de un muelle helicoidal muy largo, capaz de realizar por sí solo movimientos muy curiosos, como rebotar, pasar de una mano a otra o bajar unas escaleras.

Lo que suelo hacer es colocarme el Slinky en la palma de una mano y agarrarlo desde arriba con los dedos de la otra, sujetando los muelles por la mitad. Después retiro la mano de debajo. La parte inferior del Slinky cae, rebota, sube y baja como un yoyó, mientras el muelle queda suspendido de mis dedos.

—¿Qué es lo que ha hecho que el muelle suba y baje de esa manera? —les pregunto a los alumnos.

—Tu mano. Has quitado la mano de debajo —me responden.

Entonces saco la caja de cartón donde se guarda el Slinky y la coloco en la misma posición, apoyada en la palma de una mano, y la sujeto desde arriba con los dedos de la otra. Con el gesto más teatral que soy capaz de realizar, retiro la mano de debajo.

No sucede nada, por supuesto. La caja se queda ahí colgada.

—Ahora repetiré la pregunta. ¿Qué es lo que hace que el Slinky suba y baje?

Está claro que la respuesta se encuentra en el propio Slinky. Las manos que lo manipulan evitan o activan un comportamiento característico, inherente a la estructura del propio muelle.

Esta es una idea fundamental de la teoría de sistemas.

Una vez que descubrimos que existe una relación entre la estructura y el comportamiento, podemos empezar a comprender cómo funcionan los sistemas, por qué a veces tienen consecuencias negativas y qué se puede hacer para transformarlos y lograr pautas de comportamiento más positivas. En un mundo que cambia constantemente y se vuelve cada vez más complejo, la teoría de sistemas nos puede ayudar a gestionar, adaptar y observar la amplia variedad de opciones que tenemos a nuestra disposición. Es una manera de pensar que nos permite identificar el origen de los problemas y descubrir nuevas oportunidades.

Por tanto, ¿qué es un sistema? Un sistema es un conjunto de cosas

—personas, células, moléculas o lo que sea— interrelacionadas de tal manera que dan lugar a una pauta de comportamiento característica en un periodo de tiempo determinado. Las fuerzas externas pueden afectar, restringir, activar o impulsar un sistema. Pero cada sistema responde a esas fuerzas de una manera específica y, en el mundo real, rara vez encontramos respuestas sencillas.

Cuando se aplica a un Slinky, es una idea bastante fácil de entender. Cuando se aplica a individuos, compañías, ciudades o sistemas económicos, puede llegar a considerarse una auténtica herejía. ¡Los sistemas son, en gran medida, los responsables de su propio comportamiento! Los acontecimientos exteriores pueden provocar ese comportamiento, pero es probable que esos mismos acontecimientos exteriores aplicados a un sistema diferente tengan consecuencias diferentes.

Pensemos, por un momento, en las implicaciones de esta idea:

- ⟶ Los líderes políticos no son los responsables de los periodos de crisis o de bonanza económica. Los altibajos son inherentes a la estructura de la economía de mercado.
- ⟶ Las empresas de la competencia casi nunca son las responsables de que una compañía pierda su cuota de mercado. Puede que la competencia aproveche la ventaja, pero las compañías generan sus propias pérdidas, al menos en parte, a través de sus políticas comerciales.
- ⟶ Las naciones exportadoras de petróleo no son las únicas responsables de la subida del precio del crudo. Sus acciones por sí solas no podrían hacer que se disparasen los precios globales y el caos económico si el consumo de petróleo, las políticas de precios y de inversión de las naciones importadoras de petróleo no hubieran construido economías vulnerables a las interrupciones de suministro.
- ⟶ El virus de la gripe no nos ataca; somos nosotros quienes creamos las condiciones para que se desarrolle dentro de nuestro organismo.
- ⟶ La drogadicción no es un error de un individuo, y ninguna persona, por mucho empeño o cariño que invierta, puede curar a un drogadicto —ni siquiera el propio adicto—. Solo si comprendemos que la adicción forma parte de un conjunto más amplio de influencias y de problemas sociales podremos empezar a luchar contra ella.

Este tipo de afirmaciones resultan profundamente inquietantes. Sin embargo, están cargadas de sentido común. A mi modo de ver, tanto la reticencia como la aceptación de los principios de la teoría de sistemas proceden de dos tipos de experiencia humana con los que todos estamos familiarizados.

Por una parte, nos han enseñado a emplear el pensamiento analítico, nuestra capacidad racional, a relacionar directamente las causas con los efectos, a estudiar los fenómenos descomponiéndolos en partes pequeñas y comprensibles, a resolver problemas interviniendo en el mundo que nos rodea o sometiéndolo a nuestro control. Esa educación, que ha generado una gran cantidad de poder personal y social, es la que nos lleva a considerar que los presidentes y las empresas de la competencia, la OPEP y la gripe y las drogas son las causas de nuestros problemas.

Por otra parte, mucho antes de que nos educaran en el análisis racional, todos nos hemos enfrentado en alguna ocasión con sistemas complejos. Nosotros mismos somos sistemas complejos: nuestros cuerpos son un ejemplo magnífico de complejidad integrada, interrelacionada, autosuficiente. Todas las personas con las que nos cruzamos, todas las organizaciones, todos los animales, los jardines, los árboles y los bosques son sistemas complejos. Hemos desarrollado intuitivamente, sin recurrir al pensamiento analítico, en muchas ocasiones sin verbalizarlo, un conocimiento práctico que nos permite saber cómo funcionan estos sistemas y cómo debemos trabajar con ellos.

La teoría de sistemas moderna, a pesar de que se encuentra estrechamente relacionada con los ordenadores y las ecuaciones, trabaja en realidad con verdades que en cierta medida todo el mundo conoce. A veces es posible, por tanto, traducir directamente la jerga de la teoría de sistemas a la sabiduría tradicional.

> Por culpa de los retrasos en la transmisión de información que se producen en los sistemas complejos, puede darse el caso de que en el momento en que se descubre un problema resulte tan difícil de resolver que no merezca la pena hacerlo.
> —*Más vale prevenir que curar*.
>
> Según el principio de exclusión competitiva, si un bucle de retroalimentación reforzador recompensa al ganador de una competición con los medios para ganar futuras competiciones, la consecuencia será la desaparición de la inmensa mayoría de los competidores.
> —*Pues al que tiene se le dará, y al que no tiene, aun lo que tiene le será quitado* (Marcos, 4:25)
> o
> —*Los ricos serán más ricos y los pobres más pobres*.
>
> Un sistema diversificado con múltiples rutas y redundancias es más estable y menos vulnerable a las agresiones externas que un sistema uniforme, menos diversificado.
> —*Es mejor no poner todos los huevos en la misma cesta.*

Desde la Revolución Industrial, la sociedad occidental se ha beneficiado de la ciencia, la lógica y el reduccionismo en detrimento de la intuición y el holismo. Desde el punto de vista psicológico y político, preferimos pensar que la causa de un problema está «ahí fuera» que afirmar que se encuentra «aquí dentro». Es prácticamente imposible resistirse a culpar a otra circunstancia o a otra persona, descargarnos de las responsabilidades e intentar encontrar el botón

rojo, el producto, la pastilla, la solución técnica que acabará con el problema.

Hemos solucionado muchos problemas graves centrándonos en los agentes externos: hemos sido capaces de prevenir la viruela, de incrementar la producción de alimentos, de mejorar el transporte rápido, a larga distancia, de mercancías y personas. Sin embargo, al estar integradas en sistemas más generales, algunas de nuestras «soluciones» han creado nuevos problemas. Y algunos problemas, los más arraigados en la estructura interna de los sistemas complejos, los verdaderos embrollos, han persistido.

El hambre, la pobreza, la degradación del medio ambiente, la inestabilidad económica, el desempleo, las enfermedades crónicas, la drogadicción y la guerra, por ejemplo, persisten a pesar de nuestra habilidad analítica y de las brillantes soluciones técnicas que hemos ofrecido para erradicarlas. Nadie ha creado esos problemas deliberadamente, nadie quiere que persistan, pero persisten, a pesar de todo. Esto sucede porque son problemas inherentes a los sistemas: conductas indeseables características de la estructura de los sistemas que las producen. Solo desaparecerán si recuperamos nuestra intuición, dejamos de buscar culpables, tomamos conciencia de que el sistema es la fuente de sus propios problemas y reunimos el valor y recabamos los conocimientos necesarios para *reestructurarlo*.

Una obviedad. Pero una obviedad subversiva. Una visión antigua. Pero nueva, en cierto sentido. Tranquilizadora, pues la solución está en nuestras manos. Inquietante, porque debemos *hacer cosas* o, por lo menos*, ver las cosas* y *pensar* en ellas de una manera diferente.

Este libro trata sobre esa manera diferente de ver y de pensar. Está dirigido a esas personas que desconfían de la palabra «sistema» y del campo del análisis de sistemas, aunque es posible que lleven toda su vida practicando el pensamiento sistémico. No he querido profundizar en aspectos demasiado técnicos porque mi intención es demostrar que se puede avanzar un buen trecho en la comprensión de la teoría de sistemas sin recurrir a las matemáticas ni a la informática.

A lo largo del libro emplearé abundantes diagramas y gráficos temporales, porque un análisis de sistemas que se centre exclusivamente en las palabras resulta problemático en cierto sentido. Las palabras y las frases deben presentarse, necesariamente, de una en una, en un orden lineal, lógico. En los sistemas todo sucede al mismo tiempo. No solo están conectados en una dirección, sino en muchas direcciones a la vez. Para estudiarlos de manera adecuada es necesario utilizar un lenguaje que comparta algunas propiedades con el fenómeno que pretende describir.

En este tipo de lenguaje, los dibujos funcionan mejor que las palabras, porque en un dibujo se pueden ver todas las partes al mismo

tiempo. Iré desarrollando los dibujos de los sistemas de manera gradual, empezando por los esquemas más sencillos. Creo que al final descubriréis que este lenguaje gráfico es muy fácil de entender.

Comenzaré por lo más básico: la definición de sistema y el análisis de sus diferentes partes (un análisis reduccionista, no holístico). Después, volveré a juntar todas las partes para demostrar cómo se interrelacionan para formar la unidad operativa básica de un sistema: el bucle de retroalimentación.

A continuación, daremos un paseo por el zoo de los sistemas: os mostraré algunos de los tipos de sistemas más comunes e interesantes. Veréis cómo se comportan algunas de estas criaturas, por qué actúan así y cuál es su hábitat más habitual. Las reconoceréis enseguida; están a nuestro alrededor, incluso en nuestro interior.

Tomando como fundamento un puñado de «animales» de este zoo —una serie de ejemplos específicos—, explicaré por qué los sistemas funcionan de una manera tan admirable y por qué nos sorprenden y nos confunden con tanta frecuencia. Veremos que todas las personas o los elementos de un sistema pueden actuar de un modo diligente y racional, pero todas esas acciones bien intencionadas se suman con demasiada frecuencia para generar consecuencias absolutamente terribles. Y que las cosas suceden mucho más rápido o mucho más despacio de lo que todo el mundo piensa que lo hacen. Y que uno puede poner en práctica un procedimiento que siempre ha funcionado y descubrir de pronto, para su gran decepción, que ya no funciona. Y que los sistemas son capaces de empezar a mostrar repentinamente un tipo de comportamiento que no habíamos observado hasta ese momento.

Ese análisis nos llevará a examinar los problemas comunes con los que la comunidad de los teóricos de sistemas se tropieza una y otra vez cuando trabaja con empresas y gobiernos, economías y ecosistemas, en el campo de la fisiología y en el de la psicología. «He aquí un nuevo caso de la tragedia de los recursos comunes», nos decimos cuando observamos un sistema de asignación para compartir un recurso hídrico entre comunidades o un recurso financiero entre escuelas. A veces identificamos un caso de «erosión de objetivos» mientras estudiamos las reglas y los incentivos comerciales que favorecen o entorpecen el desarrollo de nuevas tecnologías. O detectamos un claro ejemplo de «resistencia a las políticas» cuando examinamos la capacidad para tomar decisiones y la naturaleza de las relaciones en una familia, una comunidad o una nación. O somos testigos de una «adicción», que puede ser provocada por numerosos agentes, no solo por la cafeína, el alcohol, la nicotina o los narcóticos.

Los teóricos de sistemas llaman «arquetipos» a estas estructuras comunes que dan lugar a comportamientos característicos. Cuando se

me ocurrió la idea de escribir este libro, decidí definirlos como «trampas de los sistemas». Después añadí «y oportunidades», porque estos arquetipos, que son responsables de algunos de los problemas más difíciles de abordar y más peligrosos, en potencia, también se pueden transformar, profundizando ligeramente, para producir conductas mucho más deseables.

Después, veremos lo que todos nosotros podemos hacer para reestructurar los sistemas en los que vivimos. Podemos aprender a buscar factores clave, puntos de influencia, para cambiar las cosas.

Y concluiré con la lección más importante de todas, la que he extraído de los conocimientos que han compartido conmigo la mayoría de los teóricos de sistemas que conozco. Quienes quieran profundizar aún más en la teoría de sistemas encontrarán en el apéndice un glosario, una bibliografía de recursos de teoría de sistemas, una lista resumida de los principios sistémicos y las ecuaciones correspondientes a los modelos que se describen en la primera parte.

Hace algunos años, cuando nuestro pequeño grupo de investigación se trasladó del MIT al Dartmouth College, observamos que un catedrático de ingeniería de Dartmouth acudía con asiduidad a los seminarios en los que participábamos. Un buen día se presentó en nuestro despacho.

—Vosotros sois diferentes —nos dijo—. Planteáis preguntas de otro tipo. Sois capaces de ver cosas que yo no puedo ver. En cierto modo, os enfrentáis al mundo de una manera diferente. ¿Cómo lo hacéis? ¿Por qué?

Eso es lo que espero hacer entender a lo largo de las páginas de este libro, pero sobre todo en la conclusión. No creo que el enfoque sistémico sea mejor que el reduccionista. Creo que es complementario y, por tanto, revelador. Se pueden observar algunos fenómenos a través de la lente del ojo humano, otras a través de la lente del microscopio y otras más a través de la lente de la teoría de sistemas. Todo lo que se ve a través de cada una de estas lentes posee una existencia verdadera. Cada forma de ver permite que nuestro conocimiento de este mundo maravilloso en el que vivimos sea un poco más completo.

En un momento en que el mundo es más caótico, más superpoblado, más interrelacionado, más interdependiente que nunca, y cambia cada vez más rápido, no podemos despreciar ninguna óptica. La lente de la teoría de sistemas nos permite reivindicar nuestra intuición para entender sistemas completos y

- mejorar nuestra capacidad para entender sus partes,
- descubrir interrelaciones,
- formular preguntas hipotéticas para averiguar cómo serán las

conductas futuras, y

→ desarrollar la creatividad y la valentía necesarias para rediseñar los sistemas.

Cuando lo hagamos, podremos utilizar nuestras ideas para cambiarnos a nosotros mismos y al mundo que nos rodea.

Interludio. Los ciegos y el elefante

Más allá de Ghor había una ciudad. Todos sus habitantes eran ciegos. Un rey llegó con su séquito a las proximidades del lugar y acampó en el desierto. El rey llevaba consigo un elefante enorme con el que atacaba y atemorizaba a todo el mundo.

La población estaba ansiosa por ver el elefante, y algunos ciegos de esta comunidad ciega se precipitaron como locos para encontrarlo.

Como no conocían ni siquiera la forma ni el aspecto del elefante, tantearon a ciegas para reunir información y palparon alguna parte del cuerpo del animal.

Cada uno pensó que sabía algo, porque pudo tocar una parte de él. […]

El que había tocado la oreja […] dijo:

—Es una cosa grande, rugosa, ancha y gruesa, como un felpudo.

Y el que había palpado la trompa observó:

—Yo conozco los hechos reales. Es una especie de tubo recto y hueco, terrible y destructivo.

—Es fuerte y sólido, como una columna —exclamó el que le había tocado las patas.

Cada uno había palpado una sola parte del elefante. Todos lo habían percibido erróneamente […].[2]

Este antiguo cuento sufí sirve para ilustrar una idea muy sencilla que, sin embargo, solemos ignorar: el comportamiento de un sistema no se puede conocer únicamente a través del conocimiento de los elementos que lo integran.

[1] Russell Ackoff, «The Future of Operational Research Is Past», *Journal of the Operational Research Society* 30, núm. 2 (febrero de 1979), pp. 93-104.

[2] Idries Shah, *Tales of the Dervishes*, Nueva York, E. P. Dutton, 1970, p. 25. [Trad. cast.: *Cuentos de los derviches*, Barcelona, Paidós, 1981].

PARTE I

ESTRUCTURA Y COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS

01

Principios básicos

«Todavía no he encontrado ningún problema, por complicado que sea, que no se vuelva aún más complicado cuando se enfoca de la manera adecuada».

POUL ANDERSON[3]

Algo más que la suma de sus partes

Un sistema no es solo una colección de cosas. Un **sistema**[4] es un conjunto de elementos interrelacionados, organizados de manera coherente para alcanzar un fin. Si estudiamos esta definición con detenimiento, veremos que un sistema debe estar formado por tres tipos de cosas: *elementos*, *interrelaciones* y una *función* o *propósito*.

Nuestro sistema digestivo, por ejemplo, está formado por dientes, encimas, estómago e intestinos, entre otros elementos. Estos elementos se interrelacionan a través del flujo físico de alimentos y de un refinado conjunto de señales químicas reguladoras. La función de este sistema es descomponer la comida para obtener sus nutrientes básicos, trasladar esos nutrientes a la corriente sanguínea (otro sistema) y desechar al mismo tiempo los residuos que no se pueden aprovechar.

Un equipo de fútbol es un sistema integrado por diversos elementos: los jugadores, el entrenador, el campo y la pelota. Las interrelaciones son las reglas del juego, la estrategia del entrenador, la comunicación entre los jugadores y las leyes de la física que rigen los movimientos de la pelota y de los jugadores. El propósito del equipo es ganar partidos, o divertirse, o hacer ejercicio, o ganar millones de dólares, o todo al mismo tiempo.

Un colegio es un sistema. Y también una ciudad, y una fábrica, y una empresa, y la economía de una nación. Un animal es un sistema. Un árbol es un sistema, y un bosque es un sistema mayor que contiene subsistemas de árboles y animales. La Tierra es un sistema. Y también el Sistema Solar; y una galaxia. Los sistemas pueden insertarse dentro de otros sistemas, que a su vez se insertan en otros mayores.

¿Hay algo que no sea un sistema? Sí: un conglomerado sin interrelaciones ni funciones específicas. La arena esparcida aleatoriamente en un camino no es, en sí misma, un sistema. Uno puede añadir o quitar arena y tendrá lo mismo, arena en el camino. Si añades o suprimes arbitrariamente jugadores de fútbol o trozos del aparato digestivo, el sistema cambiará inmediatamente.

Cuando muere un ser vivo, pierde su carácter «sistémico». Las múltiples interrelaciones que lo mantenían unido dejan de funcionar y se dispersa, aunque su materia siga formando parte del sistema más amplio de la cadena alimentaria. Algunas personas dicen que un viejo

vecindario en el que la gente se conoce y se comunica con regularidad es un sistema social, y que un bloque de apartamentos recién construido, lleno de desconocidos, no lo es: por lo menos hasta que no se forjen nuevas relaciones y se forme un sistema.

Un sistema es algo más que la suma de sus partes.
Puede mostrar un comportamiento adaptativo, dinámico, buscar sus propios fines, conservarse y, en algunos casos, evolucionar.

Estos ejemplos demuestran que los sistemas poseen cierta integridad o totalidad, y un conjunto activo de mecanismos destinados a preservarla. Los sistemas pueden cambiar, adaptarse, reaccionar a los acontecimientos, buscar metas, curar heridas y ocuparse de su propia supervivencia como si fueran seres vivos, aunque contengan o estén formados por objetos inanimados. Los sistemas pueden organizarse de manera autónoma y suelen tener la capacidad de repararse solos, al menos cuando sufren cierto tipo de alteraciones. Son resilientes y, en muchos casos evolutivos. De un sistema pueden surgir otros completamente nuevos, inimaginables.

No debemos fijarnos solo en los jugadores: debemos observar las reglas del juego

«Crees que como entiendes el "uno", entenderás el «dos», porque uno y uno suman dos. Pero olvidas que también debes entender el "y"».

Proverbio sufí

Los elementos de un sistema suelen ser las partes más fáciles de detectar, porque muchos de ellos son cosas visibles, tangibles. Los elementos que forman un árbol son las raíces, el tronco, las ramas y las hojas. Si lo observamos más de cerca, encontraremos células especializadas: vasos que transportan los fluidos hacia arriba y hacia abajo, cloroplastos y demás. El sistema de la universidad está compuesto por edificios, alumnos, profesores, administrativos, bibliotecas, libros, ordenadores… y podría seguir y enumerar los componentes de cada uno de estos elementos. Los elementos no tienen por qué ser objetos físicos. Los sistemas también poseen elementos intangibles. En una universidad, el orgullo de los estudiantes que han conseguido acceder a la enseñanza superior y la competencia académica son dos intangibles que pueden llegar a convertirse en elementos muy importantes del sistema. Una vez que empezamos a enumerar los elementos de un sistema, podemos seguir prácticamente hasta el infinito. Los elementos se pueden dividir en subelementos y estos en sub-subelementos. Enseguida perdemos de vista el sistema. Como dice el refrán, los árboles nos impiden ver el bosque.

Antes de seguir avanzando, sería una buena idea dejar de diseccionar los elementos y empezar a buscar las *interrelaciones*, las relaciones que hacen que los elementos se mantengan unidos.

Las interrelaciones en el sistema del árbol son los flujos físicos y las

reacciones químicas que rigen los procesos metabólicos del árbol: las señales que permiten que una parte responda a lo que está sucediendo en otra. Por ejemplo, cuando las hojas empiezan a quedarse sin agua en un día soleado, la presión de los vasos que transportan el agua desciende para que las raíces absorban más agua. Por el contrario, cuando las raíces alcanzan tierra seca, la pérdida de presión de agua indica a las hojas que cierren los poros, para no seguir perdiendo agua.

Pensad en esto

Cómo saber si nos encontramos ante un sistema o, simplemente, ante un conjunto de cosas:

a) ¿Se pueden diferenciar distintas partes?... y

b) ¿Se influyen estas partes entre sí?... y

c) ¿Produce la suma de las partes un efecto diferente del que produce cada una de ellas por separado?... y quizá

d) ¿Persiste ese efecto, esa conducta que se mantiene a lo largo del tiempo, cuando varían las circunstancias?

En las regiones templadas, cuando los días se hacen más cortos, los árboles caducifolios envían señales químicas para que los nutrientes se trasladen desde las hojas hasta el tronco y las raíces, y entonces los pedúnculos se debilitan y las hojas se caen.

Parece ser que existen incluso ciertas señales que hacen que los árboles produzcan repelentes químicos o construyan paredes celulares más resistentes cuando los insectos atacan una parte de la planta. Nadie es capaz de entender todas las relaciones implícitas en el comportamiento de un árbol. Y es normal. Es más sencillo conocer los elementos de un sistema que sus interrelaciones.

Entre las interrelaciones del sistema de la universidad podemos encontrar los criterios de admisión, los requisitos necesarios para obtener un título, los exámenes y las calificaciones, los presupuestos y el flujo de dinero, los cotilleos y, lo más importante, la transmisión de conocimiento, que se supone que es el propósito general del sistema. Algunas de las interrelaciones de los sistemas son flujos físicos reales, como sucede con el agua que fluye a través del tronco de un árbol o con los alumnos que se mueven por el campus de la universidad. Muchas interrelaciones son flujos de información: señales que viajan hasta los puntos de acción o de decisión de los sistemas. Este tipo de interrelaciones suelen ser más difíciles de detectar, pero cuando las buscamos, el sistema nos las revela. Los alumnos pueden utilizar información no oficial sobre la probabilidad de obtener buenas calificaciones para decidir qué asignaturas eligen. Un consumidor decide qué comprar basándose en la información relacionada con sus ingresos, sus ahorros, su solvencia, los productos que ya ha adquirido y los que podría adquirir. Los gobiernos necesitan recabar información

sobre el tipo y el grado de polución del agua antes de crear regulaciones prácticas para reducir esa contaminación (nótese que la información relacionada con la existencia de un problema puede ser condición necesaria pero no suficiente para impulsar una acción: se necesita además información relacionada con los recursos, los incentivos y las consecuencias).

Muchas de las interrelaciones de los sistemas funcionan mediante un flujo de información.

La información mantiene unidos a los sistemas y juega un papel importante a la hora de determinar su funcionamiento.

Si las relaciones basadas en la información son difíciles de detectar, las *funciones* o los *propósitos* lo son aún más. La función o el propósito de un sistema no se verbaliza, ni se escribe, ni se expresa de manera explícita: solo se manifiesta a través del funcionamiento del sistema. La mejor manera de deducir el propósito de un sistema es observarlo durante un tiempo para ver cómo se comporta.

Si una rana se vuelve hacia la derecha y atrapa una mosca, y después se gira hacia la izquierda y se come otra mosca, y después se da la vuelta y caza una tercera, el propósito de la rana no consiste en volverse a la izquierda, a la derecha o hacia atrás, sino en cazar moscas. Si el gobierno de una nación proclama su interés por proteger el medio ambiente, pero no invierte dinero ni se esfuerza por lograr ese objetivo, es evidente que la protección del medio ambiente no es uno de los propósitos de ese gobierno. Los propósitos se deducen del comportamiento, no de la retórica ni de los objetivos expresados.

La función de un sistema integrado por una caldera con termostato es mantener un edificio a una temperatura determinada. Una de las funciones de una planta es almacenar las semillas para crear más plantas. Uno de los propósitos de la economía de una nación es, a juzgar por su comportamiento, seguir creciendo. Una función importante de casi todos los sistemas es garantizar su propia supervivencia.

Los propósitos de los sistemas no tienen por qué ser propósitos humanos y no son necesariamente los que persigue cualquiera de los actores integrados en el sistema. De hecho, uno de los aspectos más frustrantes de los sistemas es que los propósitos de las unidades subsidiarias pueden acabar generando una conducta global que nadie desea. Nadie pretende crear una sociedad en la que es imposible controlar la drogadicción y el crimen, pero pensemos en los propósitos combinados y en las acciones consecuentes de los actores implicados:

→ Personas desesperadas que buscan un alivio rápido para el sufrimiento mental.

→ Agricultores, traficantes y banqueros que quieren ganar dinero.

⟶ Camellos que no respetan las leyes, a diferencia de los policías que les persiguen.
⟶ Gobiernos que ilegalizan sustancias dañinas y utilizan el poder policial para prohibirlas.
⟶ Ricos que viven muy cerca de los pobres.
⟶ Personas no adictas más interesadas en su propia seguridad que en fomentar la recuperación de los adictos.

Juntos, todos estos elementos forman un sistema que dificulta en extremo la erradicación de la drogadicción y del crimen.

Los sistemas pueden dar cabida a otros sistemas. Por tanto, podemos encontrar propósitos dentro de otros propósitos. El propósito de una universidad es descubrir y preservar el conocimiento y transmitírselo a las nuevas generaciones. Dentro de la universidad, el propósito de un estudiante puede ser obtener buenas calificaciones; el de un profesor, mantenerse en su puesto de trabajo; el de un administrador, cuadrar los presupuestos. Cualquiera de esos propósitos subsidiarios podría entrar en conflicto con el propósito general: el alumno puede copiar en un examen, el profesor puede ignorar a los alumnos para poder publicar más artículos, el administrador puede despedir a los profesores para cuadrar los presupuestos. Mantener la armonía entre los propósitos subsidiarios y los del sistema general es una función esencial de los sistemas eficaces. Más adelante volveré sobre esta cuestión, cuando hablemos de las jerarquías.

Una aclaración terminológica

La palabra «función» se suele aplicar a los sistemas no humanos; la palabra «propósito», a los humanos, pero no se trata de una distinción absoluta, pues existen muchos sistemas que contienen elementos humanos y no humanos.

Para entender la importancia relativa de los elementos, las interrelaciones y los propósitos de un sistema, podríamos imaginar lo que sucedería si los cambiáramos uno por uno. Por lo general, los cambios de elementos apenas afectan al sistema. Si sustituimos todos los jugadores de un equipo de fútbol, se sigue reconociendo que es un equipo de fútbol (puede que juegue mucho mejor o mucho peor: los elementos particulares en un sistema pueden ser muy importantes). Las células de los árboles cambian constantemente; las hojas, una vez al año o así, pero, a pesar de estos cambios, el árbol sigue siendo en esencia el mismo. Nuestro cuerpo renueva la mayor parte de las células cada dos o tres semanas, pero sigue siendo nuestro cuerpo. La universidad cuenta con un flujo constante de alumnos y un flujo más lento de profesores y administradores, pero sigue siendo una universidad. De hecho, sigue siendo la misma universidad y se diferencia de las demás en pequeños detalles, de la misma manera que General Motors y el Congreso de Estados Unidos conservan su

identidad aunque cambien todos sus miembros. Un sistema, por lo general, sigue siendo el mismo, y se transforma lentamente, cuando experimenta algún cambio, aunque se sustituyan por completo todos sus elementos, siempre que las interrelaciones y los propósitos permanezcan intactos.

La parte menos evidente de un sistema, su función o propósito, suele ser el factor más determinante del comportamiento del sistema.

Si cambian las interrelaciones, es posible que el sistema experimente una profunda alteración. Puede llegar a volverse irreconocible, incluso, aunque los jugadores del equipo sean los mismos. Si cambiamos las reglas del fútbol por las del baloncesto, crearemos un juego de pelota totalmente nuevo. Si cambiamos las interrelaciones del sistema de un árbol —si, por ejemplo, en lugar de absorber dióxido de carbono y emitir oxígeno, hiciera lo contrario—, ya no sería un árbol (sería un animal). Si en una universidad los alumnos calificaran a los profesores, o si los debates no se dirimieran con ayuda de la razón, sino por la fuerza, habría que buscar un nombre diferente para definir ese lugar. Sería un sistema interesante, pero no sería una universidad. Si se alteran las interrelaciones de un sistema, este puede experimentar un cambio radical.

Los cambios en la función o en el propósito también pueden tener consecuencias drásticas. ¿Qué sucedería si se mantuvieran los mismos jugadores y las mismas reglas, pero variara el propósito y, por ejemplo, no se persiguiera la victoria, sino la derrota? ¿Qué sucedería si la función de un árbol no consistiera en sobrevivir y reproducirse, sino en recoger todos los nutrientes del suelo y crecer de forma ilimitada? La difusión de conocimiento no es el único propósito de la universidad: hay quien piensa que también sirve para hacer dinero, para adoctrinar a la gente o para ganar partidos de fútbol. Si se cambia el propósito, el sistema puede sufrir una alteración radical, aunque se mantengan los mismos elementos y las mismas interrelaciones.

Preguntarse si lo más importante de un sistema son los elementos, las interrelaciones o los propósitos no tiene sentido en el ámbito de la teoría de sistemas. Todos son esenciales. Todos interactúan. Todos tienen su papel. Pero la parte menos evidente del sistema, su función o propósito, suele ser el factor que determina su comportamiento. Las interrelaciones también poseen una importancia decisiva. Si se alteran las relaciones, el comportamiento del sistema suele variar. Los elementos, las partes de los sistemas que podemos detectar con más facilidad, son a menudo (no siempre) menos importantes a la hora de definir las características singulares de un sistema: *a menos que al cambiar un elemento se alteren también las relaciones o el propósito*.

Si se sustituye a un único líder mundial —si cambiamos a Brézhnev

por Gorbachov, a Carter por Reagan—, una nación entera puede tomar un rumbo totalmente distinto, aunque sus territorios, sus fábricas y los cientos de millones de personas que la habitan sean exactamente los mismos. Un líder puede conseguir que esos territorios, esas fábricas y esas personas jueguen a un juego diferente, con nuevas reglas, o puede orientar el juego hacia un nuevo propósito.

Y, a la inversa, dado que los territorios, las fábricas y las personas son elementos físicos, estables, que cambian lentamente, la velocidad a la cual un líder político puede conseguir que una nación entera siga un rumbo completamente distinto es limitada.

Bañeras: el comportamiento de un sistema en un periodo de tiempo determinado

«La información contenida en la naturaleza […] nos permite una reconstrucción parcial del pasado. […] El desarrollo de meandros en un río, la creciente complejidad de la corteza de la Tierra […] son mecanismos de almacenamiento de información similares a los sistemas genéticos. […] Cuando se acumula información, se incrementa la complejidad del mecanismo».

RAMÓN MARGALEF[5]

Una **reserva** es el fundamento de cualquier sistema. La reserva la forman los elementos del sistema que uno puede ver, tocar, contar o medir en un momento dado. La reserva de un sistema es exactamente lo que parece: un depósito, una cantidad de material o de información que se ha acumulado a lo largo del tiempo. Puede ser el agua de una bañera, una población, los libros de una librería, la madera de un árbol, el dinero de un banco, la confianza que se tiene en uno mismo. Una reserva no tiene por qué ser física. Podemos hablar tanto de la reserva de buena voluntad de una persona en relación con los demás como de la cantidad de esperanza en que el mundo mejore.

Una reserva es la memoria del historial de variación de flujos del sistema.

Las reservas cambian a lo largo del tiempo por acción de los **flujos**. El flujo es el agua que entra y sale de una bañera, los nacimientos y las defunciones, las compras y las ventas, el crecimiento y el declive, los depósitos y las retiradas de efectivo, los éxitos y los fracasos. Una reserva, por tanto, es la memoria actual del historial de variación de flujos del sistema.

Figura 1. Cómo interpretar los diagramas de flujo. En este libro, las reservas se representan en forma de «cajas», y los flujos en forma de «tuberías» con flechas que entran o salen de las reservas. Las letras "T" que aparecen en cada flujo representan «grifos»; se pueden regular para que el caudal aumente o disminuya; se pueden abrir o

cerrar del todo. Las «nubes» representan el origen y el destino de los flujos: las fuentes y los sumideros, elementos que no vamos a tener en cuenta porque no son pertinentes en el presente análisis.

Un yacimiento subterráneo de mineral, por ejemplo, es una reserva de la cual se extrae un flujo de mineral a través de la minería. El flujo de entrada de mineral en un yacimiento es insignificante en cualquier periodo temporal que no se pueda medir en eones. Por eso he decidido representar un esquema simplificado de este sistema sin flujo de entrada (Figura 2). *Todos* los diagramas de sistemas y las descripciones son versiones simplificadas del mundo real.

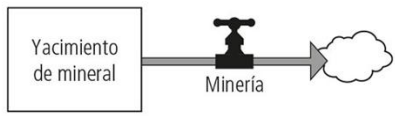


Figura 2. Una reserva de mineral explotada a través de la minería.

El agua represada en un embalse es una reserva que aumenta gracias a la lluvia y al agua del río —los flujos de entrada— y disminuye cuando el agua se evapora de la superficie del embalse o cuando se abre la presa —los flujos de salida.

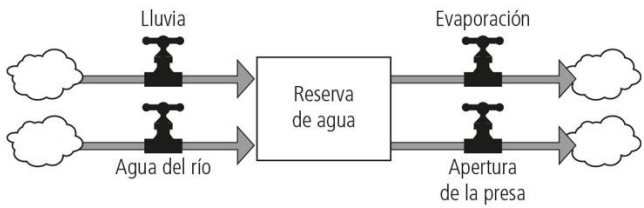


Figura 3. Una reserva de agua en una presa con múltiples flujos de entrada y de salida.

La cantidad de madera de los árboles vivos de un bosque es una reserva. El flujo de entrada es el crecimiento de los árboles. Los flujos de salida, la muerte natural de los árboles y la leña que obtienen los leñadores. La madera talada es un flujo de entrada de otra reserva, que puede ser la de las existencias de madera de un aserradero. El flujo de salida de las existencias de madera puede ser la madera que vende el aserradero.

Figura 4. Una reserva de madera conectada con una reserva de árboles en un bosque.

Si entendemos la **dinámica** de los flujos y las reservas —su comportamiento en un periodo de tiempo determinado—, habremos avanzado un buen trecho en la comprensión del comportamiento de los sistemas complejos. Basta saber cómo funciona una bañera para comprender esta dinámica.

Figura 5. Estructura del sistema de una bañera: una reserva, con un flujo de entrada y otro de salida.

Imaginemos una bañera llena de agua, con el desagüe tapado y los grifos cerrados: un sistema inalterable, sin dinamismo, aburrido. Ahora, imaginemos que quitamos el tapón. La bañera se vacía, por supuesto. El nivel del agua de la bañera desciende hasta que se vacía por completo.

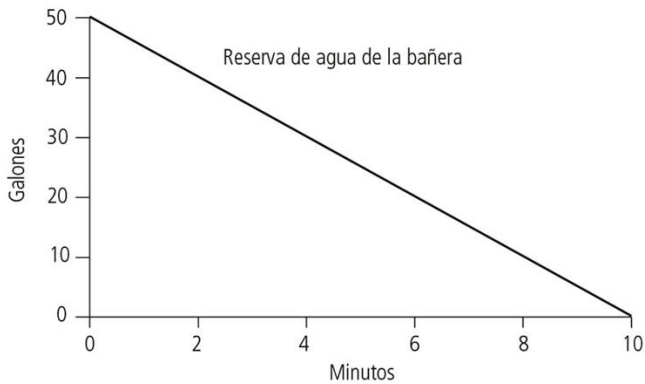


Figura 6. Reserva de agua en una bañera cuando se quita el tapón.

Imaginemos ahora que la bañera se ha vuelto a llenar y que quitamos el tapón una vez más, pero esta vez, cuando la bañera está más o menos medio vacía, abrimos el grifo, de manera que la cantidad

de agua que entra es exactamente igual que la que sale. ¿Qué es lo que sucede?

La cantidad de agua de la bañera se mantiene constante en el nivel que había alcanzado cuando el flujo de entrada se equiparó con el de salida. Se trata de un estado de **equilibrio dinámico**: aunque el agua fluye continuamente a través de la bañera, el nivel no varía.

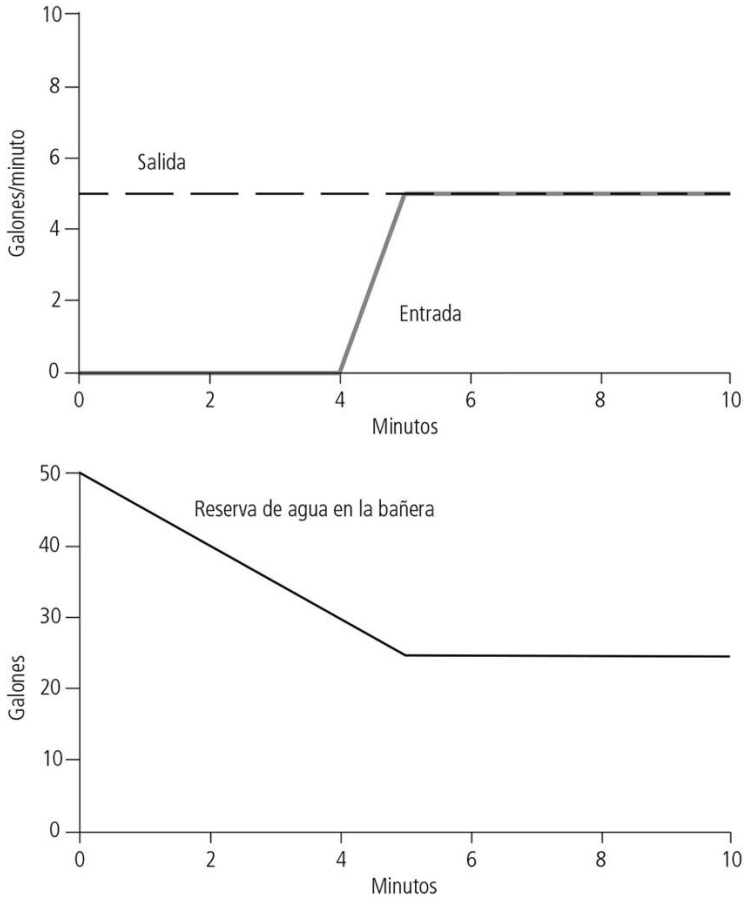


Figura 7. Flujo de salida constante, flujo de entrada activado a los cinco minutos, con los cambios que se producen en la reserva de agua de la bañera.

Imaginemos que aumentamos ligeramente el flujo de entrada mientras el flujo de salida se mantiene constante. El nivel de agua en la bañera sube lentamente. Si después cerramos el grifo de entrada lo suficiente para que coincida exactamente con el flujo de salida, el agua de la bañera dejará de subir. Si lo cerramos un poco más, el nivel de agua descenderá lentamente.

Una aclaración relacionada con la interpretación de los gráficos que describen una conducta en un intervalo de tiempo determinado

Los teóricos de sistemas utilizan gráficos de comportamiento de sistemas para estudiar

las tendencias en un periodo de tiempo determinado, en lugar de centrar la atención en los acontecimientos individuales. También utilizamos este tipo de gráficos para determinar si el sistema en cuestión se acerca a una meta o a un límite y, en caso positivo, a qué velocidad lo hace.

La variable de estudio puede ser una reserva o un flujo. El patrón —la forma de la línea variable— es importante, y también lo son los puntos en los que esa línea cambia de forma o de dirección. Por lo general, las cifras de los ejes son menos relevantes.

El eje temporal horizontal nos permite plantear preguntas para intentar determinar qué ha sucedido antes y qué sucederá después. Nos ayuda a centrarnos en el horizonte temporal más apropiado para la cuestión o el problema que estamos investigando.

Este modelo de bañera es un sistema muy sencillo con una única reserva, un flujo de entrada y un flujo de salida. Hemos dado por sentado que en el periodo temporal que se estudia (minutos), la cantidad de agua que se evapora de la bañera es insignificante, y por eso no hemos incluido ese flujo de salida. Todos los modelos, ya sean modelos mentales o matemáticos, son simplificaciones del mundo real. En el caso de esta bañera, conocemos todas las posibilidades dinámicas. A partir de ellas, podemos deducir varios principios importantes que se pueden aplicar a otros sistemas más complejos:

- ⟶ Siempre que la suma de todos los flujos de entrada supere la suma de todos los flujos de salida, el nivel de la reserva se incrementará.
- ⟶ Siempre que la suma de todos los flujos de salida supere la suma de todos los flujos de entrada, el nivel de la reserva descenderá.
- ⟶ Si la suma de todos los flujos de salida es igual a la suma de todos los flujos de entrada, el nivel de la reserva no variará; se mantendrá en un equilibrio dinámico en el nivel en el que se encontraba cuando se igualaron los dos tipos de flujo.

Parece ser que a la mente humana le resulta más fácil prestar atención a las reservas que a los flujos. Por si fuera poco, cuando prestamos atención a los flujos, tendemos a centrarnos más en los *flujos de entrada* que en los de salida. Por tanto, a veces no reparamos en que no solo se puede llenar una bañera incrementando la velocidad de entrada, sino también disminuyendo la de salida. Todo el mundo entiende que se puede prolongar la vida de una economía basada en el petróleo si se descubren nuevos yacimientos de crudo. Parece más difícil comprender que el mismo resultado se puede obtener reduciendo el consumo. Un avance que mejore la eficiencia energética puede tener el mismo efecto sobre las reservas disponibles de petróleo que el descubrimiento de un nuevo campo petrolífero, aunque las personas que se beneficien no sean las mismas.

Una reserva se puede incrementar reduciendo el flujo de salida o aumentando el flujo de entrada.

¡No existe una única manera de llenar una bañera!

Del mismo modo, una compañía puede incrementar la mano de obra contratando a más trabajadores u obtener el mismo resultado reduciendo las tasas de despido y dimisión. Estas dos estrategias pueden tener costes muy diferentes. La riqueza de una nación se puede estimular invirtiendo en el desarrollo de fábricas y maquinaria. Pero también se puede estimular, con una inversión menor, si se reduce la tasa de deterioro, avería y renovación de las fábricas y la maquinaria.

El desagüe o el grifo de una bañera —los flujos— se pueden regular en un momento, pero es mucho más difícil conseguir que el nivel de agua —la reserva— cambie de pronto. El agua tarda un tiempo en salir por el desagüe, aunque lo abramos del todo. La bañera tarda en llenarse, aunque abramos el grifo al máximo. *Las reservas tardan tiempo en cambiar porque los flujos tardan tiempo en fluir*. Esta es una idea muy importante, fundamental para entender el comportamiento de los sistemas. Las reservas, por lo general, cambian lentamente. Pueden provocar retrasos, ralentizar o regular el desarrollo de los sistemas, convertirse en un lastre, actuar como amortiguadores y generar inercias. Las reservas, sobre todo las de grandes dimensiones, siempre reaccionan de la misma manera a los cambios, incluso a los cambios repentinos: se llenan o se vacían de manera gradual.

Por lo general, las reservas cambian lentamente, incluso cuando los flujos de entrada o de salida varían de repente.

Por tanto, las reservas pueden retrasar, amortiguar o regular el desarrollo de los sistemas.

La inercia inherente de las reservas se suele subestimar. Se necesita mucho tiempo para que la población de un lugar determinado crezca o deje de crecer, para que se acumule una buena cantidad de madera en un bosque, para que un depósito se llene o para que una mina se agote. Un país no puede construir de la noche a la mañana una red eficaz de fábricas, autopistas y centrales eléctricas, aunque disponga de un inmenso capital. Una economía que cuenta con una gran cantidad de calderas y motores automóviles que consumen petróleo no puede empezar de pronto a utilizar calderas y motores que dependan de otro combustible, aunque el precio del petróleo varíe de pronto. Las sustancias contaminantes que han destruido la capa de ozono han tardado décadas en acumularse en la estratosfera; tardaremos décadas en acabar con ellas.

Los cambios en las reservas marcan el ritmo de la dinámica de los sistemas. La industrialización no puede avanzar a un ritmo superior al de la construcción de fábricas y de maquinaria, ni al de la formación de los seres humanos que tendrán que manejarlas y mantenerlas. Un bosque no crece de la noche a la mañana. Una vez que las sustancias contaminantes se acumulan en las aguas freáticas, es necesario que se

renueven para que se depuren, un proceso que puede llevar décadas o incluso siglos.

Los retrasos derivados de la lentitud de estos cambios pueden causar problemas a los sistemas, pero también son fuentes de estabilidad. La tierra que se ha ido acumulando durante siglos casi nunca se erosiona de golpe. Una población que ha desarrollado muchas habilidades no las olvida inmediatamente. Se puede extraer agua freática a una velocidad superior a la que tarda en renovarse durante mucho tiempo antes que el acuífero se seque tanto que quede dañado. Los retrasos que imponen las reservas generan un margen de maniobra que favorece la experimentación y la revisión de las políticas que no funcionan.

Si conocemos la velocidad de cambio de las reservas, sabremos que los procesos no se pueden acelerar y no desistiremos antes de tiempo.

Se pueden aprovechar las ventajas de la inercia de los sistemas, encauzarla y obtener resultados positivos, algo parecido a lo que hacen los buenos yudocas, que utilizan la fuerza del adversario para alcanzar sus propios objetivos.

Me gustaría mencionar otro principio importante relacionado con el papel de las reservas en los sistemas, un principio que entronca directamente con el concepto de retroalimentación. Las reservas favorecen la independencia mutua de los flujos de entrada y de los flujos de salida y el desequilibrio temporal entre ellos.

Las reservas permiten que los flujos de entrada y de salida se separen, actúen de manera independiente y se descompensen temporalmente.

Sería muy difícil dirigir una compañía petrolífera si hubiera que producir la gasolina en la refinería al mismo ritmo que los coches la consumen. No se puede talar un bosque al mismo ritmo que crecen los árboles. Tanto la gasolina que se almacena en los depósitos como la madera de los bosques son dos reservas que permiten que la vida se desarrolle con cierta certidumbre, continuidad y predictibilidad, aunque los flujos varíen a corto plazo.

Los seres humanos hemos inventado cientos de mecanismos destinados al mantenimiento de las reservas para favorecer la independencia y la estabilidad de los flujos de entrada y de salida. Gracias a los embalses, por ejemplo, los vecinos y los granjeros que viven a lo largo de la ribera de un río no tienen que adaptar constantemente sus vidas y su trabajo a las variaciones del caudal del río, sobre todo cuando hay sequía o el río se desborda. Gracias a los bancos, una persona no tiene por qué ingresar dinero al mismo ritmo que lo gasta. Las existencias de mercancías que se almacenan en los diferentes eslabones de la cadena comercial —distribuidores, mayoristas y minoristas— permiten que la producción se desarrolle sin contratiempos, aunque la demanda de los clientes varíe, y que se

satisfaga la demanda de los clientes, aunque se altere el ritmo de producción.

La mayoría de las decisiones que toman los individuos y las instituciones están destinadas a regular los niveles de las reservas. Si las existencias de un producto aumentan demasiado, entonces se reducen los precios o se incrementa el presupuesto de publicidad, para intensificar las ventas y reducir las existencias. Cuando disminuye la reserva de alimentos que guardamos en la despensa, salimos a comprar. Según prospere la cosecha de cereal, los agricultores decidirán si necesitan más o menos agua de riego o pesticidas; las compañías de cereales, si tienen que contratar más o menos barcazas para transportar la cosecha; los especuladores pujarán por el valor futuro de la cosecha y los ganaderos aumentarán o reducirán sus rebaños. Si el nivel de agua de una presa aumenta o disminuye demasiado, se ponen en marcha todo tipo de mecanismos de corrección. Lo mismo se puede decir de la reserva de dinero que uno lleva en la cartera, de las reservas de petróleo de una compañía petrolífera, del montón de virutas de madera que abastecen una fábrica de papel y de las sustancias contaminantes que se acumulan en un lago.

Controlamos las reservas constantemente, y tomamos decisiones y emprendemos acciones dirigidas a aumentarlas o reducirlas o a lograr que se mantengan dentro de unos márgenes aceptables. Esas decisiones se suman a las fluctuaciones, a los éxitos y a los fracasos de todo tipo de sistemas. Los teóricos de sistemas ven el mundo como un conjunto de reservas, acompañado de una serie de mecanismos destinados a regular los niveles de estas reservas mediante la manipulación de los flujos.

Eso significa que los teóricos de sistemas ven el mundo como un conjunto de «procesos de retroalimentación».

Cómo se autorregulan los sistemas: la retroalimentación

> *«Los sistemas de información regulados mediante procesos de retroalimentación poseen una importancia fundamental para la vida y la conducta humanas, ya sea en el ámbito de la evolución biológica, en el de los satélites espaciales. […] Todas las acciones de los individuos, de la industria y de la sociedad se llevan a cabo en el contexto de un sistema de retroalimentación y de información».*
>
> JAY W. FORRESTER[6]

Cuando una reserva crece a pasos agigantados o disminuye de golpe o se mantiene dentro de unos márgenes sin tener en cuenta lo que sucede a su alrededor, es probable que se haya activado un mecanismo de control. En otras palabras, si observamos que una conducta persiste a lo largo del tiempo, es probable que algún mecanismo la esté provocando. Ese mecanismo actúa mediante un

bucle de retroalimentación. Un patrón de conducta uniforme que se mantiene en un periodo de tiempo prolongado es el primer indicio de la existencia de un bucle de retroalimentación.

Los bucles de retroalimentación se forman cuando los cambios que se producen en una reserva afectan a sus flujos de entrada o de salida. Un bucle de retroalimentación puede ser sencillo y directo. Pensemos, por ejemplo, en una cuenta de ahorro que devenga ciertos intereses. La cantidad total de dinero de la cuenta (la reserva) determina la cantidad de dinero que ingresa en la cuenta en concepto de intereses. Esto se debe a que el banco tiene una regla según la cual la cuenta genera cierto porcentaje de interés anual. La cantidad total de dólares que ingresan en la cuenta cada año en concepto de intereses (el flujo de entrada) no es una cantidad fija, sino que varía dependiendo del saldo total de la cuenta.

Otro bucle de retroalimentación bastante evidente es el que podemos observar cuando el banco nos envía el extracto mensual de nuestra cuenta bancaria. Si el nivel de efectivo disponible en la cuenta bancaria (una reserva) disminuye, podemos decidir que necesitamos trabajar más horas para ganar más dinero. El dinero que ingresa en nuestra cuenta es un flujo que se puede ajustar para incrementar la reserva de efectivo y alcanzar un nivel más conveniente. Si la cuenta crece mucho, uno puede relajarse y trabajar menos (reducir el flujo de entrada). Este tipo de bucle de retroalimentación permite mantener el nivel de efectivo dentro de unos márgenes aceptables. Es evidente que la regulación de las ganancias no es el único bucle de retroalimentación que afecta a la reserva de efectivo. También se puede regular el flujo de salida de dinero de una cuenta, por ejemplo. No es difícil imaginar un bucle de retroalimentación que regula el flujo de salida de los gastos.

Un bucle de retroalimentación puede mantener el nivel de una reserva dentro de unos límites, incrementarlo o reducirlo. En todos los casos, los flujos de entrada o de salida se regulan según la variación del tamaño de la propia reserva. La persona o la máquina que vigila el nivel de la reserva pone en marcha un proceso de corrección, regulando el ritmo del flujo de entrada o de salida (o el de ambos) y alterando así el nivel de la reserva. El nivel de la reserva se retroalimenta a través de una cadena de señales y acciones que le permiten autorregularse.

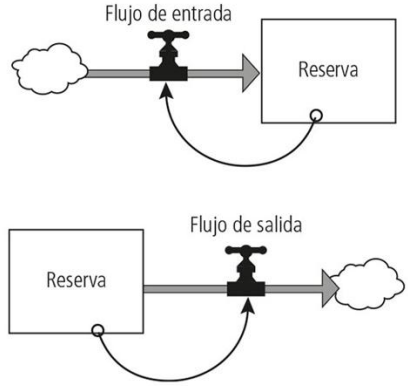


Figura 8. Cómo interpretar un diagrama de flujo con bucles de retroalimentación. En ambos diagramas distinguimos una reserva, un flujo que provoca cambios en la reserva y un vínculo de información que dirige la acción (se representa como una flecha curvada). Lo que se pretende subrayar es que la acción o el cambio siempre se produce mediante la regulación de flujos.

No todos los sistemas funcionan mediante bucles de retroalimentación. Algunos sistemas son cadenas abiertas de reservas y flujos, relativamente sencillas. Puede que la cadena se vea afectada por factores externos, pero los niveles de las reservas de la cadena no afectan a sus flujos. Sin embargo, los sistemas que funcionan con bucles de retroalimentación son muy habituales y pueden llegar a adquirir una complejidad considerable y un funcionamiento bastante sorprendente, como veremos más adelante.

Un bucle de retroalimentación es una cadena cerrada de relaciones de causalidad que parte de una reserva y, a través de una serie de decisiones, de reglas, de leyes físicas o de acciones que dependen del nivel de la reserva, vuelve a ella para alterarla.

Bucles de estabilización: retroalimentación compensadora

Los bucles de retroalimentación que estabilizan el nivel de una reserva, como el del ejemplo de la cuenta bancaria, son bastante habituales. Puede que el nivel de la reserva experimente una ligera variación, pero se mantiene dentro de unos márgenes aceptables. A continuación, veremos algunos otros ejemplos de bucles de retroalimentación estabilizadores que puede que os resulten familiares. Estos ejemplos nos servirán para explicar en detalle algunas de las fases que podemos encontrar dentro de un bucle de retroalimentación.

Cuando una persona que está acostumbrada a beber café siente que se le empiezan a agotar las energías, se sirve una taza de ese líquido oscuro para espabilarse de nuevo. El bebedor de café tiene en mente un nivel de reserva deseado (la energía que le permite trabajar). El

propósito de este sistema de administración de cafeína es mantener el nivel de la reserva en el nivel deseado, lo más cerca posible (este propósito es compatible con otros: disfrutar del sabor o participar en una actividad social). Es el desajuste, la discrepancia entre el nivel real de energía para trabajar y el nivel deseado lo que anima al bebedor a tomar la decisión de regular el consumo diario de cafeína.

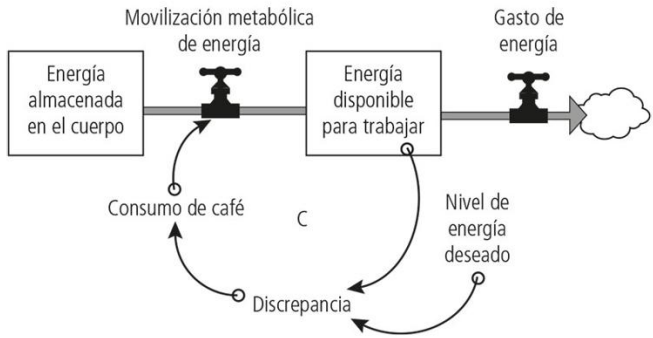


Figura 9. Nivel de energía de un bebedor de café.

Nótese que en la Figura 9, los rótulos, como en el resto de los diagramas que aparecen en este libro, no indican una dirección determinada. Se habla de la «energía almacenada en el cuerpo», no de un «nivel *bajo* de energía»; del «consumo de café», no de «una dosis *mayor* de café». Esto se debe a que los bucles de retroalimentación pueden funcionar en dos direcciones. En este caso, el bucle de retroalimentación es capaz de corregir la saturación o la escasez de suministro. Si bebemos demasiado café y empezamos a dar saltos por un exceso de energía, prescindiremos momentáneamente de la cafeína. Un nivel elevado de energía genera una discrepancia que indica que es «demasiado», y nos anima a reducir el consumo de café hasta que el nivel de energía haya recuperado la normalidad. El diagrama pretende mostrar que el funcionamiento del bucle sirve para impulsar la reserva de energía en una u otra dirección.

Podría haber representado el flujo de entrada de energía saliendo de una nube, pero he preferido dibujar un diagrama un poco más complicado. *Recordad: todos los diagramas de sistemas son simplificaciones del mundo real*. Cada uno decide el grado de complejidad que quiere estudiar. En este ejemplo, he dibujado otra reserva. La energía acumulada en el cuerpo que la cafeína es capaz de activar. Lo he hecho para indicar que en este sistema hay más de un bucle en funcionamiento. Como sabe cualquier bebedor habitual de café, la cafeína es un estimulante que solo funciona a corto plazo. Nos permite poner en marcha el motor más rápido, pero no nos ayuda a rellenar el depósito de combustible. Al final, el estímulo de la cafeína

desaparece y el déficit de energía que experimenta el cuerpo es mayor que antes. Esa carencia puede reactivar el bucle de retroalimentación y dar pie a una nueva visita a la cafetera (véase más abajo el análisis de la adicción). O puede activar algunas respuestas de retroalimentación más duraderas y saludables: comer algo, dar un paseo, dormir un poco.

Este tipo de bucles que regulan, estabilizan y persiguen un objetivo se llaman **bucles de retroalimentación compensadores**, por eso he escrito una C dentro del bucle en el diagrama. Los bucles compensadores persiguen un *objetivo* o buscan la *estabilidad*. En ambos casos, tratan de mantener una reserva dentro de un valor determinado o de una serie de valores. Un bucle compensador se opone a cualquier dirección de cambio que se intente imponer en un sistema. Si la reserva aumenta demasiado, el bucle compensador intentará reducirla. Si disminuye demasiado, el bucle compensador intentará hacer que aumente de nuevo.

Veamos otro bucle compensador relacionado con el café. En este caso, sin embargo, el bucle no se activa por medio de decisiones humanas, sino de una ley física. Una taza de café caliente se enfría poco a poco hasta alcanzar la temperatura de la habitación en la que se encuentra. La velocidad a la que se enfría depende de la diferencia entre la temperatura del café y la temperatura de la habitación. Cuanto mayor sea la diferencia, más rápido se enfriará. El bucle también funciona en sentido inverso: si preparamos un café con hielo en un día caluroso, se calentará hasta que alcance la temperatura de la habitación. La función de este sistema consiste en reducir a cero la discrepancia entre la temperatura del café y la temperatura de la habitación, sea cual sea la dirección de la discrepancia.

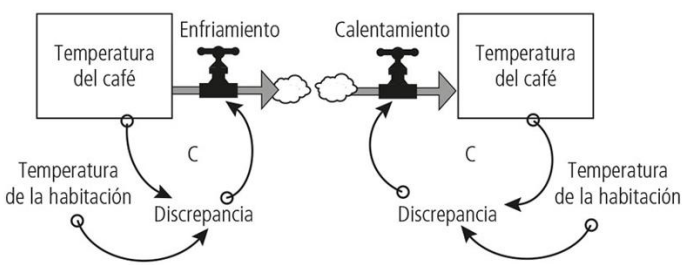


Figura 10. Una taza de café que se enfría (izquierda) o se calienta (derecha).

El gráfico de la Figura 11 muestra lo que sucede con la temperatura en un intervalo temporal determinado (siempre que no nos bebamos el café) partiendo de diferentes temperaturas, desde la temperatura inmediatamente inferior al punto de ebullición, hasta la inmediatamente superior a la congelación. En este gráfico podemos apreciar la tendencia a «volver al punto de origen» que muestran los bucles de retroalimentación compensadores. Sea cual sea el valor

inicial de la reserva del sistema (la temperatura del café, en este caso), tanto si se encuentra por encima como por debajo del «objetivo» (la temperatura de la habitación), el bucle de retroalimentación hace que se aproxime a él. El cambio es más rápido al principio, y después se ralentiza, cuando la discrepancia entre la reserva y el objetivo se reduce.

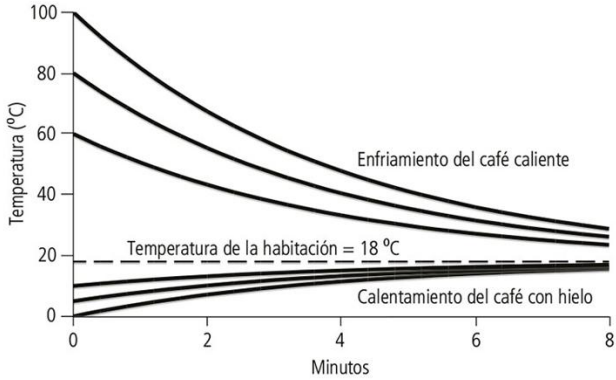


Figura 11. Temperatura del café aproximándose a una temperatura de la habitación de 18 °C.

Esta pauta de comportamiento —la aproximación gradual a un objetivo definido por el sistema— es la misma que siguen la desintegración de un elemento radiactivo, los misiles que alcanzan su objetivo, los activos que se deprecian, las presas que se vacían o se llenan para alcanzar el nivel deseado, los cuerpos que regulan la concentración de azúcar en sangre o un conductor que frena hasta que el coche se detiene en un semáforo en rojo. Se me ocurren muchos otros ejemplos. El mundo está lleno de bucles de retroalimentación orientados a la consecución de un objetivo.

La presencia de un mecanismo de retroalimentación no significa que ese mecanismo funcione *bien* necesariamente. Puede que el mecanismo de retroalimentación no posea la fuerza suficiente para conseguir que la reserva alcance el nivel deseado. La retroalimentación —las interconexiones, la dimensión informativa del sistema— puede fallar por numerosas razones. Puede darse el caso de que la información llegue con retraso o a un lugar equivocado; de que se trate de una información confusa, incompleta o difícil de interpretar; de que desencadene una acción demasiado débil, retardada, con recursos limitados o simplemente ineficaz. Puede que la reserva real no logre alcanzar el objetivo del bucle de retroalimentación. Pero en el sencillo ejemplo de la taza de café, la bebida, al final, alcanza la temperatura de la habitación.

Los bucles de retroalimentación son estructuras sistémicas que buscan un equilibrio o un objetivo y, al hacerlo generan estabilidad y resistencia a los

Bucles descontrolados: retroalimentación reforzadora

«Necesitaría descansar para revitalizar la mente, pero para descansar es necesario viajar, y para viajar hay que tener dinero, y el dinero no se consigue si no se trabaja. […] Estoy atrapado en un círculo vicioso […] del que es imposible escapar».

HONORÉ BALZAC,
novelista y dramaturgo del siglo XIX[7]

«En este caso, nos enfrentamos a un fenómeno muy llamativo. Parece un razonamiento circular; los beneficios se reducen porque disminuyen las inversiones, y las inversiones disminuyen porque los beneficios se reducen».

JAN TINBERGEN, economista[8]

El segundo tipo de bucle de retroalimentación es un bucle que intensifica, que refuerza, que es capaz de multiplicarse, de provocar un efecto de bola de nieve: un círculo vicioso o virtuoso que genera un crecimiento saludable o una destrucción descontrolada. Lo denominaremos **bucle de retroalimentación reforzador** y lo representaremos con una R en los diagramas. Cuanto mayor sea el volumen de una reserva, mayor será la aportación que esta reciba (y a la inversa, a menor volumen, menor aportación). Un bucle de retroalimentación reforzador potencia el cambio que se le imponga, sea cual sea la dirección que siga.

Por ejemplo:

⟶ Cuando éramos niños, cuanto más me empujaba mi hermano, más le empujaba yo en respuesta, y cuantos más empujones me devolvía, más le devolvía yo.

⟶ Cuanto más suben los precios, más deben subir los salarios para que la gente pueda mantener su nivel de vida. Y si suben los salarios, es necesario subir los precios para seguir obteniendo beneficios. Esto se traduce en una nueva subida de salarios que provoca a su vez un nuevo repunte de los precios.

⟶ A mayor cantidad de conejos, mayor cantidad de progenitores capaces de engendrar crías. A mayor cantidad de crías, mayor proporción de crías que crecerán y se convertirán en progenitores capaces de engendrar aún más conejos.

⟶ Cuanto más se erosiona un terreno, las plantas no pueden crecer en él y las raíces no ayudan a que la tierra se mantenga unida, así que la erosión aumenta y pueden crecer aún menos plantas.

⟶ Cuanto más estudie piano, más placer obtendré del sonido y, por tanto, más tocaré y mejoraré.

Los bucles reforzadores aparecen en aquellos casos en los que un elemento de un sistema es capaz de reproducirse o de crecer como una fracción constante de sí mismo. Las poblaciones y las economías, por

ejemplo, se comportan de ese modo. ¿Recordáis el ejemplo de la cuenta bancaria que reportaba intereses? Cuanto más dinero tengamos en el banco, mayor será el interés que obtengamos, una cantidad que se sumará al dinero que ya teníamos en el banco, donde producirá aún más intereses.

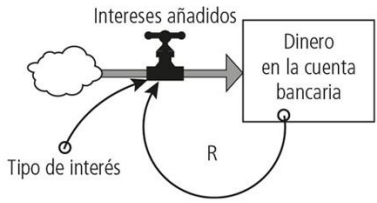


Figura 12. Cuenta bancaria que genera intereses.

La Figura 13 muestra cómo este bucle reforzador consigue que el dinero se multiplique. Empezamos con un depósito de cien dólares y suponemos que no se realizará ningún depósito ni se retirará efectivo en un periodo de doce años. Las cinco líneas muestran cinco tasas de interés diferentes, desde el 2% al 10% anual.

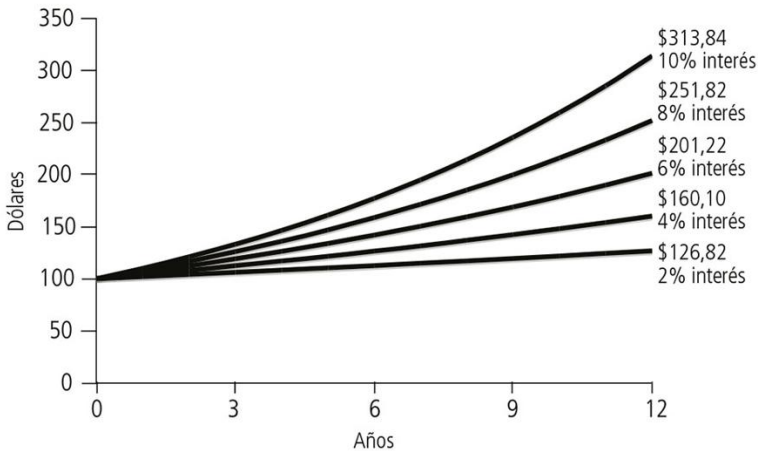


Figura 13. Incremento del ahorro con diferentes tipos de interés.

No se trata de un simple crecimiento lineal. No se mantiene constante a lo largo del tiempo. El crecimiento de la cuenta bancaria con una tasa de interés bajo puede parecer lineal en los primeros años. Pero, en realidad, es cada vez más rápido. A mayor cantidad, más se añade. Este tipo de crecimiento se denomina crecimiento «exponencial». Puede ser bueno o malo, dependiendo de lo que crezca: el dinero en un banco, los enfermos de sida, una plaga en una cosecha de maíz, la economía de una nación o las armas en la carrera armamentística.

En la Figura 14, observamos que cuantas más máquinas y fábricas

(lo que denominamos colectivamente «capital») consiga acaparar una persona, más bienes y servicios («rendimiento») será capaz de producir. A mayor rendimiento, mayor capacidad de inversión en nuevas máquinas y fábricas. A mayor producción, mayor capacidad de producción. Este bucle de retroalimentación reforzador es el motor fundamental del crecimiento de una economía.

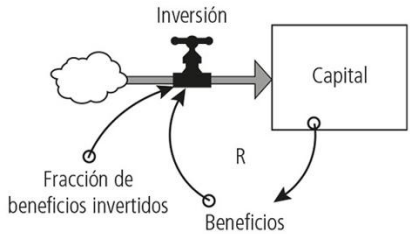


Figura 14. Reinversión de capital.

Puede que a estas alturas hayáis empezado a vislumbrar la importancia que poseen los bucles compensadores y reforzadores para los sistemas. Algunas veces, reto a mis alumnos a que piensen en una sola decisión humana en la que *no* intervenga un bucle de retroalimentación, es decir, una decisión que se tome sin tener en cuenta cualquier tipo de información relacionada con el nivel de la reserva sobre la que influye. Intentad pensar en uno. Cuanto más tiempo le dediquéis a esta operación, más bucles de retroalimentación empezaréis a ver por todas partes.

Los bucles de retroalimentación reforzadores se potencian a sí mismos y pueden provocar un crecimiento exponencial o un fracaso desmedido en un periodo de tiempo determinado.

Los encontramos en los casos en que una reserva es capaz de reforzarse o reproducirse por sí sola.

Las decisiones «sin retroalimentación» más comunes que los alumnos suelen sugerir son el enamoramiento y el suicidio. Dejo al lector que decida si está de acuerdo en que estas decisiones se toman *realmente* sin tener en cuenta la retroalimentación.

Una pista para entender los bucles reforzadores y el tiempo de duplicación

Como nos topamos con tanta frecuencia con bucles reforzadores, puede que resulte útil conocer este método simplificado: el tiempo que tarda una reserva que crece exponencialmente en doblar su tamaño, el «tiempo de duplicación», equivale aproximadamente a 70 dividido entre la tasa de crecimiento (expresada como un porcentaje).

Por ejemplo: si uno deposita 100 dólares en el banco con un interés anual del 7%, duplicará su dinero en diez años (70 / 7 = 10). Si el interés anual es del 5%, el dinero tardará 14 años en duplicarse.

¡Cuidado! ¡Si empezáis a ver bucles de retroalimentación por todas partes, corréis el riesgo de convertiros en teóricos de sistemas! En

lugar de limitaros a considerar que A es la causa de B, empezaréis a preguntaros si B puede *además* ejercer cierta influencia en A, y si A puede reforzarse o revertirse a sí misma. Cuando escuches en el telediario que el Banco de la Reserva Federal ha puesto en marcha una medida para controlar la economía, pensarás además que la economía tiene que haber hecho algo que afecte al Banco de la Reserva Federal. Cuando alguien te diga que el crecimiento de la población genera pobreza, te preguntarás si la pobreza puede generar el crecimiento de la población.

El mundo estático en el que habéis vivido hasta ahora se convertirá en un mundo dinámico. Dejaréis de buscar culpables y empezaréis a preguntaros: «¿A qué tipo de sistema nos enfrentamos?». El concepto de retroalimentación nos lleva a pensar que un sistema puede ser el responsable de su propio comportamiento.

Pensad en esto

Si A es la causa B,
¿es posible que B también sea la causa de A?

Hasta ahora, me he limitado a analizar de uno en uno los diferentes tipos de bucles de retroalimentación. Huelga decir que en los sistemas reales es raro encontrar un único bucle de retroalimentación. Se encuentran conectados entre sí y suelen formar estructuras de una complejidad fabulosa. Una reserva suele contar con varios bucles reforzadores y compensadores que tiran de ella en distintas direcciones con fuerzas variables. Puede darse el caso de que el contenido de tres o cinco o veinte reservas regule un único flujo. Puede que ese flujo llene una reserva a la vez que vacía otra y promueve decisiones que se alteran entre sí. Los numerosos bucles de retroalimentación de un sistema tiran los unos de los otros e intentan que las reservas crezcan, o que se agoten, o que se equilibren mutuamente. Como consecuencia de ello, los sistemas complejos no se limitan a mantenerse estables o explotar de manera exponencial o aproximarse a sus objetivos tranquilamente, como veremos.

[3] Poul Anderson, se cita en Arthur Koestler, *The Ghost in the Machine*, Nueva York, Macmillan, 1968, p. 59.

[4] La definición de los términos en negrita se puede encontrar en el glosario.

[5] Ramón Margalef, «Perspectives in Ecological Theory», *Co-Evolution Quarterly* (verano de 1975), p. 49.

[6] Jay W. Forrester, *Industrial Dynamics*, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1961, p. 15. [Trad. cast.: *Dinámica industrial*, Buenos Aires, El Ateneo, 1972].

[7] Honoré de Balzac se cita en George P. Richardson, *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*, Filadelfia, University of Pennsylvania Press, 1991, p. 54.

[8] Jan Tinbergen se cita en *ibid*., p. 44.

02

Una visita rápida al zoo de los sistemas

«El […] objetivo de toda teoría es hacer […] los elementos básicos tan simples y tan poco numerosos como sea posible sin tener que renunciar a la representación adecuada de […] la experiencia».

ALBERT EINSTEIN, físico[9]

Una buena manera de explicar una nueva teoría es utilizar ejemplos específicos en lugar de abstracciones y generalidades. Por eso, a continuación, mostraré unos cuantos ejemplos comunes, sencillos pero relevantes, de sistemas que resulta útil conocer por su interés intrínseco y que además nos ayudarán a ilustrar numerosos principios generales de los sistemas complejos.

Esta colección posee en cierto modo algunas de las virtudes y de los defectos de los zoológicos.[10] Sirve para hacerse una idea de la gran variedad de sistemas que existen en el mundo, pero no es ni por asomo una representación exhaustiva de esa variedad. Los animales se encuentran agrupados por familias —un espacio para los monos, otro para los osos (un espacio para los sistemas con una sola reserva, otro para los sistemas con dos reservas)—, de manera que podemos observar el comportamiento característico que diferencia a los monos de los osos. Pero, como en los zoos, se trata de una colección demasiado ordenada. Para poder observar y comprender a los animales, han sido separados unos de otros y aislados del hábitat natural donde se ocultan. Al igual que los animales del zoo, que se encuentran mezclados de una manera más natural en sus ecosistemas, los animales-sistemas que se describen aquí suelen relacionarse entre sí e interactuar con otros sistemas que no aparecen en esta descripción: juntos, componen la complejidad bulliciosa, ululante y efervescente en la que vivimos.

Más adelante, estudiaremos los ecosistemas. De momento, echemos un vistazo a los distintos animales-sistemas de uno en uno.

Sistemas con una reserva

Una reserva con dos bucles compensadores que compiten: el termostato

Ya hemos visto el caso de un bucle de retroalimentación compensador que perseguía un objetivo y tendía a «volver a su punto de origen»: el ejemplo de la taza de café que se enfría. ¿Qué sucede cuando son dos los bucles compensadores que tiran de una misma reserva en dos direcciones diferentes?

Un ejemplo de ese tipo de sistema es el mecanismo del termostato que regula la calefacción que calienta una habitación (o que la enfría,

si en lugar de conectarse con una caldera se conecta con un aparato de aire acondicionado). Como todos los modelos, la representación de un termostato que vemos en la Figura 15 es una simplificación del sistema de calefacción de un hogar real.

Cada vez que la temperatura de la habitación cae por debajo de la temperatura a la que se ha ajustado el termostato, este detecta una discrepancia y envía una señal que activa el flujo de calor desde la caldera, y la habitación se calienta. Cuando la temperatura de la habitación sube de nuevo, el termostato hace que se interrumpa el flujo de calor. Este sencillo bucle de retroalimentación compensador destinado a mantener la reserva en un nivel determinado es el que se muestra en la parte izquierda de la Figura 15. Si no hubiera nada más en el sistema y comenzáramos con una habitación fría con el termostato a una temperatura de 18^0C, se comportaría de la manera que se muestra en la Figura 16. La caldera se enciende y la habitación se calienta. Cuando la temperatura de la habitación alcanza la temperatura del termostato, la caldera se apaga y la habitación se mantiene justo a la temperatura deseada.

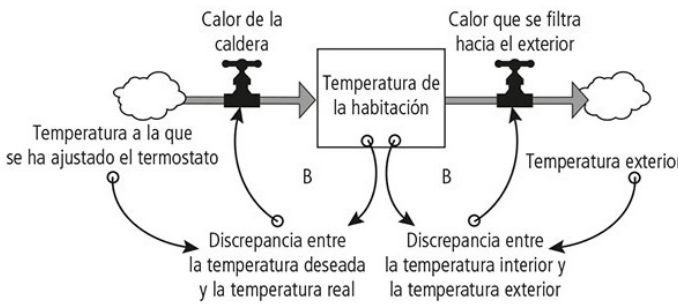


Figura 15. Temperatura de una habitación regulada por un termostato y una caldera.

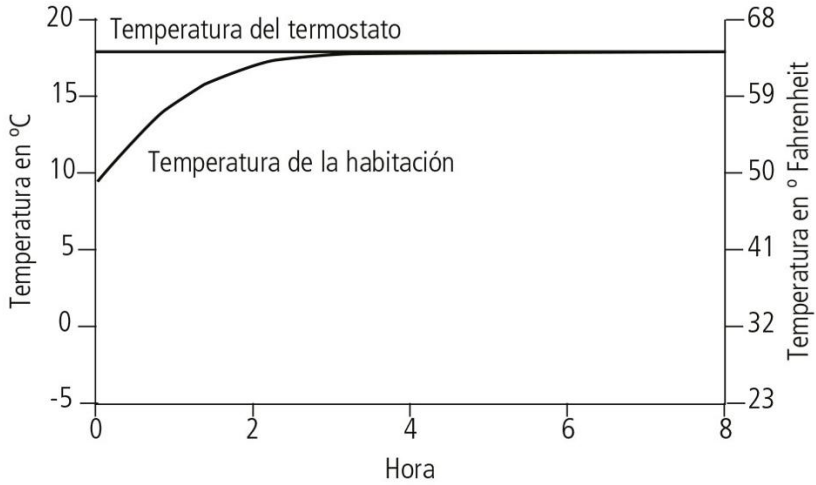


Figura 16. Una habitación fría que se calienta rápidamente hasta alcanzar la temperatura del termostato.

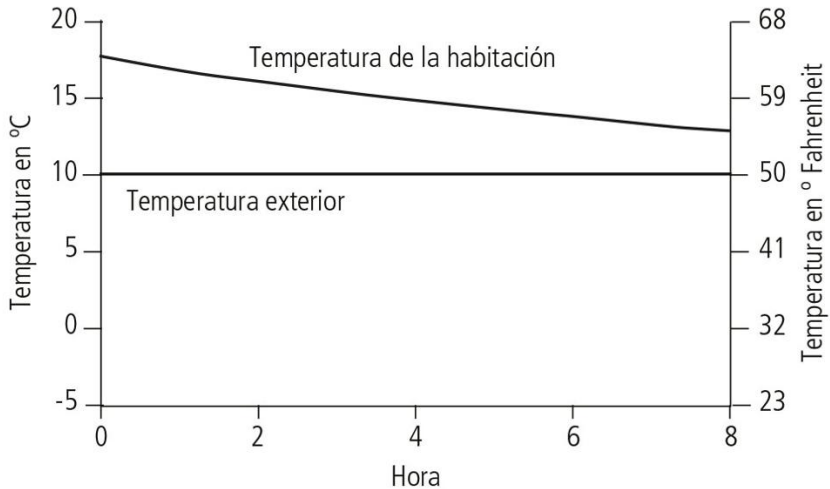


Figura 17. Una habitación caliente que se enfría lentamente hasta alcanzar la temperatura exterior de 10 ºC.

Sin embargo, este no es el único bucle del sistema. El calor también se filtra hacia el exterior. Un segundo bucle de retroalimentación compensador rige el flujo de salida de calor, tal y como se muestra en la parte derecha de la Figura 15. Este bucle intenta en todo momento que la temperatura de la habitación se iguale con la temperatura del exterior, como en el ejemplo de la taza de café que se enfría. La Figura 17 muestra lo que sucedería si este fuera el único bucle del sistema (si no hubiera caldera), comenzando con una habitación caliente en un día frío.

Partimos de la premisa de que la habitación no se encuentra perfectamente aislada y, por tanto, se pierde algo de calor que se filtra hacia el exterior. Cuanto mejor aislada esté la habitación, más lento será el descenso de temperatura.

Ahora bien, ¿qué sucede cuando estos dos bucles actúan al mismo tiempo? Si partimos de la base de que el aislamiento es suficiente y la caldera posee una capacidad adecuada, el bucle que calienta se impondrá al bucle que enfría. Conseguiremos que la habitación se caliente (véase la Figura 18), aunque el punto de partida sea una habitación fría en un día frío.

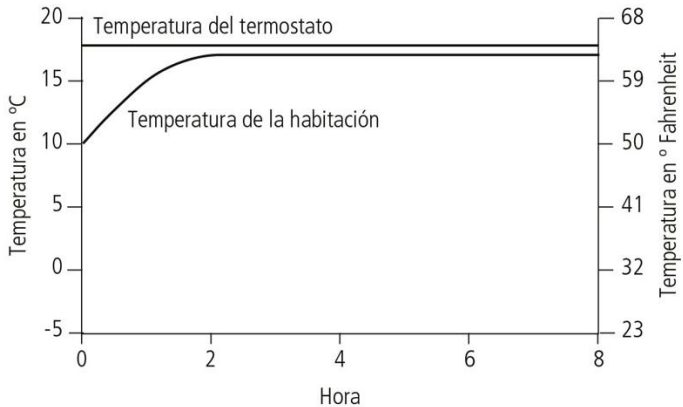


Figura 18. La caldera calienta una habitación fría, aunque el calor de la habitación se filtre hacia el exterior.

A medida que la habitación se calienta, el calor que se escapa aumenta, porque la diferencia entre la temperatura interior y la temperatura exterior es mayor. Pero la caldera sigue aportando una cantidad de calor superior a la que se filtra al exterior, de manera que la habitación se calienta hasta acercarse a la temperatura deseada. Llegados a ese punto, la caldera se enciende y se apaga cíclicamente, para compensar el calor que se escapa constantemente de la habitación.

En esta simulación, el termostato se ha regulado a 18 ^{0}C, pero la temperatura de la habitación se estabiliza en una temperatura ligeramente inferior. Esto se debe a la fuga, que hace que se pierda algo de calor, aunque la caldera reciba una señal que le indica que debe reponerlo. Este es uno de los rasgos característicos y sorprendentes del comportamiento de los sistemas con dos bucles compensadores en competencia. Lo mismo sucede cuando intentamos llenar un cubo con un agujero en el fondo. Para empeorar las cosas aún más, el agua que se escapa por el agujero depende de otro bucle de retroalimentación; cuanto más llenemos el cubo, más se

incrementará la presión del agua sobre el agujero, de manera que el flujo de salida también aumentará. En nuestro ejemplo, intentamos mantener la habitación por encima de la temperatura exterior y, cuanto más se calienta la habitación, más rápido sale el calor al exterior. La caldera tarda cierto tiempo en corregir ese incremento de la pérdida de calor, y en ese minuto se filtra aún más calor hacia el exterior. En una casa bien aislada, la pérdida será más lenta y, por tanto, el confort será mayor que el de una casa mal aislada, incluso que el de una casa mal aislada con una caldera muy potente.

En el caso de las calefacciones domésticas, hemos aprendido que conviene ajustar el termostato a una temperatura ligeramente superior a la temperatura deseada. Calcular la diferencia exacta es complicado, porque el flujo de salida es mayor en los días fríos que en los más cálidos. Pero en el caso de los termostatos, el control de este desajuste no representa un problema grave. Nadie se muere si no sabe regular bien el termostato de la caldera.

Pero en el caso de otros sistemas con esta misma estructura de bucles compensadores en competencia, el hecho de que la reserva siga cambiando mientras intentamos controlarla puede resultar verdaderamente problemático. Supongamos, por ejemplo, que queremos mantener las existencias de una tienda en un nivel determinado. En el momento en que detectamos un déficit, podemos cursar un nuevo pedido de manera inmediata. Si no tenemos en cuenta los productos que venderemos mientras esperamos a que llegue el pedido, nuestras existencias nunca alcanzarán el nivel deseado. Podemos caer en el mismo error cuando intentamos mantener un saldo de caja, o el nivel de agua en una presa, o la concentración de una sustancia química en un sistema de reacción que fluye ininterrumpidamente.

De este ejemplo, podemos extraer un principio general importante, y otro específico de la estructura del termostato. Veamos primero el principio general: la información que transmite un bucle de retroalimentación solo puede afectar al comportamiento futuro; no puede transmitir la información y, por tanto, no puede actuar con la rapidez suficiente para corregir el comportamiento que impulsó la retroalimentación actual. En este tipo de sistemas, si alguien toma una decisión basada en la retroalimentación, no podrá cambiar el comportamiento del sistema que impulsó la retroalimentación actual; las decisiones que tome solo afectarán al comportamiento futuro.

La información que transmite un bucle de retroalimentación —aun en el caso de que la retroalimentación no sea física— solo puede afectar al comportamiento futuro; no puede transmitir una señal suficientemente rápida para corregir la conducta que activó la retroalimentación actual.

Incluso la información no física tarda un tiempo en retroalimentar el sistema.

¿Por qué es importante este principio? Porque significa que siempre

habrá retrasos en la respuesta. Un flujo no puede reaccionar inmediatamente a otro flujo. Solo puede reaccionar a una variación en una reserva y, solo después de una ligera demora, el tiempo necesario para registrar la información recibida. En el ejemplo de la bañera, se necesita una fracción de segundo para evaluar el nivel de agua y decidir si se regulan los flujos. Muchos modelos económicos cometen errores en este sentido, pues presuponen que el consumo o la producción pueden reaccionar de manera inmediata a un cambio de precio, por ejemplo. Esa es una de las razones por las que las economías reales no suelen comportarse como los modelos económicos.

El principio específico que se puede deducir de este sencillo sistema es que es importante recordar que en los sistemas similares al del termostato es imprescindible tener en cuenta los procesos de vaciado o de llenado que se encuentran en activo. Si no lo hacemos, no alcanzaremos el nivel de reserva deseado. Si queremos mantener una habitación a una temperatura de 18 ^{0}C, tendremos que ajustar el termostato un poco por encima de la temperatura deseada. Si queremos pagar los gastos de nuestra tarjeta de crédito (o saldar la deuda nacional), tendremos que calcular un ritmo de reembolso ligeramente superior para cubrir los cargos en los que incurramos mientras realizamos el reembolso (intereses incluidos). Si decidimos aumentar nuestra plantilla de trabajadores, tendremos que contratar con la rapidez suficiente para compensar los abandonos que se produzcan en el transcurso del proceso. En otras palabras, es necesario contemplar todos los flujos importantes en el modelo mental de nuestro sistema si no queremos sorpresas.

Es necesario ajustar adecuadamente el objetivo de un bucle de retroalimentación compensador que mantiene el equilibrio de una reserva para compensar los procesos de llenado o vaciado que afectan a esa reserva. De lo contrario, el proceso de retroalimentación no llegará a cumplir el objetivo deseado de la reserva o lo sobrepasará.

Antes de dejar el ejemplo del termostato, deberíamos analizar cómo se comporta cuando la temperatura exterior varía. La Figura 19 nos muestra el funcionamiento normal de un sistema de termostato que no está averiado en un periodo de veinticuatro horas, cuando la temperatura exterior supera con creces el punto de congelación. El flujo de entrada de calor de la caldera controla a la perfección el flujo de salida de calor que se filtra al exterior. La temperatura de la habitación prácticamente no varía una vez que se ha calentado.

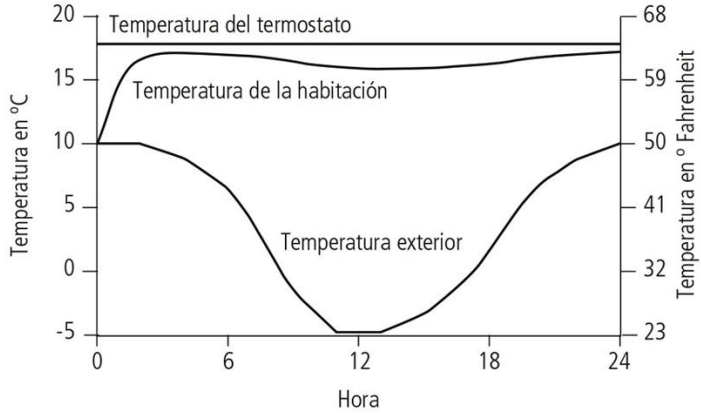


Figura 19. La caldera calienta una habitación fría, aunque el calor se escape de la habitación y la temperatura exterior descienda hasta sobrepasar el punto de congelación.

Todos los bucles compensadores tienen un punto de ruptura, el momento que otros bucles aprovechan para intentar que la reserva se aleje tanto de su objetivo que no se pueda recuperar. Esto sucede en nuestro sistema de termostato simulado si reducimos la capacidad del bucle calefactor (si utilizamos una caldera más pequeña que no puede generar tanto calor) o si reforzamos la capacidad del bucle que enfría (una temperatura exterior más baja, un aislamiento peor o unas fugas mayores). La Figura 20 nos muestra qué sucede cuando la temperatura exterior es idéntica a la de la Figura 19, pero el calor se pierde más rápido. Si la temperatura desciende mucho, la caldera no puede compensar la fuga de calor. El bucle que intenta que descienda la temperatura de la habitación para que se iguale con la del exterior domina el sistema temporalmente. No se está demasiado a gusto en esta habitación.

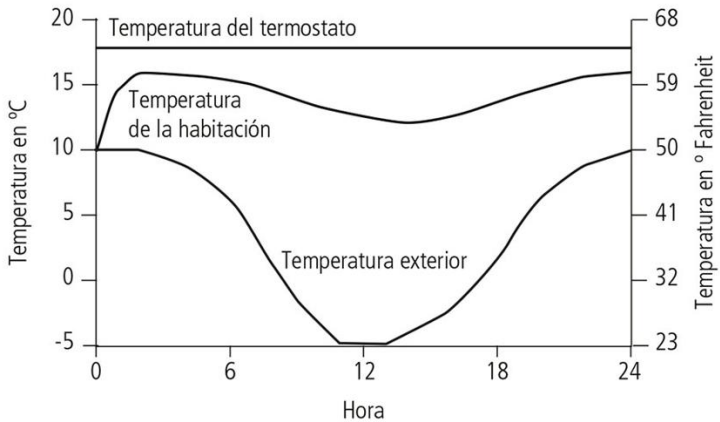


Figura 20. En un día frío, la caldera no es capaz de mantener la habitación caliente en

esta casa tan mal aislada.

Veamos cómo se relacionan entre sí las variables de la Figura 20 en un periodo de tiempo determinado. Al principio, tanto la temperatura de la habitación como la del exterior son bajas. El flujo de entrada de calor de la caldera supera al calor que se filtra al exterior, y la habitación se calienta. Durante una o dos horas, la temperatura exterior es lo suficientemente moderada para que la caldera reponga la mayoría del calor que se pierde, y la temperatura de la habitación se mantiene cercana a la temperatura deseada.

Pero cuando la temperatura exterior desciende y la fuga de calor se incrementa, la caldera es incapaz de reponer el calor lo suficientemente rápido. Como la caldera genera menos calor del que se pierde, la temperatura de la habitación desciende. Al final, la temperatura exterior aumenta de nuevo, se filtra menos calor hacia el exterior y la caldera, que sigue funcionando a la máxima potencia, por fin puede tomar la delantera y empezar a calentar la habitación de nuevo.

Al igual que sucedía con las reglas de la bañera, siempre que la caldera aporta una cantidad de calor superior a la que se pierde, la temperatura de la habitación asciende. Siempre que el ritmo del flujo de entrada es inferior al ritmo del flujo de salida, la temperatura desciende. Si observamos los cambios que se producen en el sistema en este gráfico y los relacionamos con el diagrama de flujo de este sistema, podemos hacernos una idea bastante precisa del modo en que las interconexiones estructurales de este sistema —los dos bucles de retroalimentación y la variación de intensidad en su relación mutua— condicionan el comportamiento del sistema en un periodo de tiempo determinado.

Una reserva con un bucle reforzador y un bucle compensador: la población y la economía industrial

¿Qué sucede cuando un bucle reforzador y un bucle compensador actúan simultáneamente sobre una misma reserva? Se trata de una de las estructuras de sistema más importantes y comunes. Entre otros fenómenos, se puede aplicar a todas las poblaciones y las economías humanas.

En cualquier población, siempre encontramos un bucle reforzador que hace que crezca a través de la tasa de nacimientos y un bucle compensador que hace que se extinga a través de la tasa de defunciones.

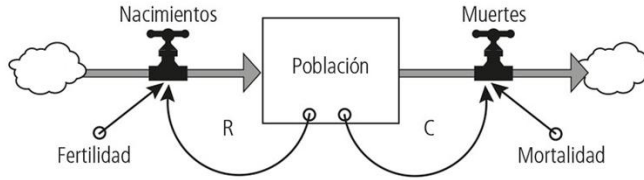


Figura 21. Una población que se rige por un bucle reforzador de nacimientos y un bucle compensador de defunciones.

Siempre que la natalidad y la mortalidad se mantengan constantes (algo que en los sistemas reales casi nunca sucede), este sistema se comporta de una manera muy sencilla. Crece exponencialmente o se extingue, dependiendo de la capacidad del bucle reforzador que determina los nacimientos y del bucle compensador que determina la mortalidad.

Por ejemplo, en 2007 la población mundial, 6 600 millones de personas, tuvo una tasa de natalidad de 21 nacimientos al año por cada mil personas, aproximadamente. La tasa de mortalidad fue de 9 defunciones al año por cada mil personas. La natalidad fue más elevada que la mortalidad, así que el bucle reforzador dominó el sistema. Si esas tasas de natalidad y de mortalidad se mantienen constantes, cuando un niño que nazca hoy cumpla sesenta años, comprobará que la población mundial se ha duplicado con creces, como muestra la Figura 22.

Si se desatara una terrible epidemia y la tasa de mortalidad ascendiera hasta llegar a las 30 defunciones por mil personas, por ejemplo, y la tasa de natalidad se mantuviera en 21, entonces el bucle de defunciones dominaría el sistema. Cada año morirían más personas de las que nacen, y la población mundial descendería de manera gradual (Figura 23).

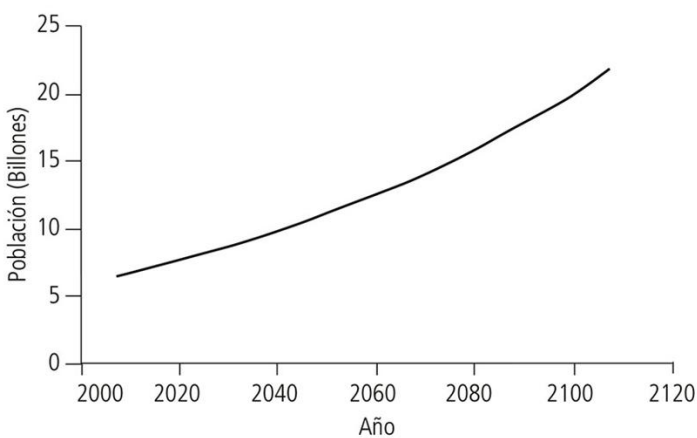


Figura 22. Crecimiento de la población si la natalidad y la mortalidad mantienen los

niveles de 2007: 21 nacimientos por 9 defunciones por cada 1000 personas.

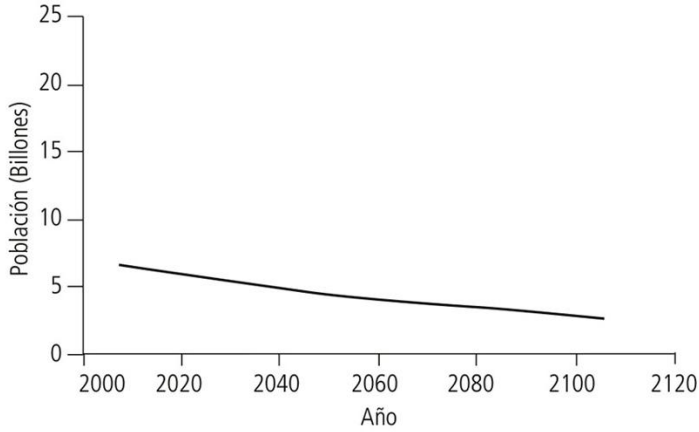


Figura 23. Descenso de la población si la natalidad mantiene los niveles de 2007 (21 nacimientos por cada 1000 personas), pero la mortalidad asciende hasta las 30 defunciones por cada 1000 personas.

Las cosas se ponen más interesantes cuando la mortalidad y la natalidad varían a lo largo de un periodo de tiempo determinado. Cuando la Organización de las Naciones Unidas hace previsiones a largo plazo de la evolución de la población, se suele presuponer que, a medida que los países se vuelven más desarrollados, la natalidad media descenderá (y se acercará a la tasa negativa, cuando la media mundial es de 1,85 hijos). Hasta hace poco, se presuponía que la mortalidad también se reduciría, aunque de manera más gradual (pues ya es baja en la mayoría de los países del mundo). Sin embargo, debido a la epidemia del VIH/SIDA, la ONU prevé ahora que la tendencia al incremento de la esperanza de vida en los próximos cincuenta años se va a ralentizar en las regiones afectadas por esta enfermedad.

Los flujos cambiantes (la natalidad y la mortalidad) provocan un cambio en el comportamiento de una reserva (la población) en un periodo de tiempo determinado: la línea se curva. Si, por ejemplo, la natalidad de la población mundial experimentara un descenso constante hasta igualarse con la mortalidad en el año 2035, y después ambas se mantuvieran constantes, la población se estabilizaría, la natalidad y la mortalidad alcanzarían un equilibrio dinámico como el que se muestra en la Figura 24.

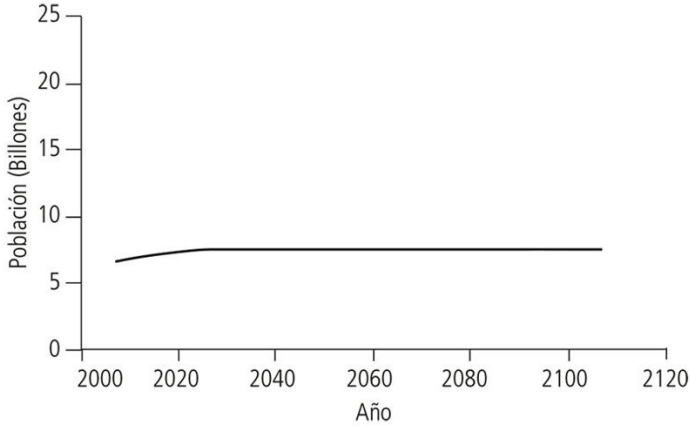


Figura 24. La población se estabiliza cuando la natalidad y la mortalidad se igualan.

Este comportamiento es un ejemplo típico de **dominio cambiante** de bucles de retroalimentación. El dominio es un concepto importante en la teoría de sistemas. Cuando un bucle domina a otro, ejerce una mayor influencia en el comportamiento del sistema. Dado que los sistemas suelen contar con varios bucles de retroalimentación que compiten y funcionan simultáneamente, los bucles que dominan el sistema son los que determinarán su comportamiento.

Al principio, cuando la natalidad supera a la mortalidad, el bucle reforzador de crecimiento domina el sistema y el comportamiento resultante es el crecimiento exponencial. Pero ese bucle se debilita gradualmente cuando decrece la natalidad. Al final, su fuerza se equipara exactamente con la del bucle compensador de la mortalidad. Llegados a ese punto, ninguno de los bucles domina y se produce un equilibrio dinámico.

Los comportamientos complejos de los sistemas suelen surgir cuando varía la intensidad relativa de los bucles de retroalimentación, de manera que en primer lugar un bucle domina la conducta y después otro.

Ya vimos un caso de dominio cambiante cuando analizábamos el sistema del termostato: la temperatura exterior descendía y el calor que se perdía debido al precario aislamiento de la casa excedía la capacidad de la caldera para calentar la habitación. El bucle que generaba calor cedía el domino al bucle que generaba frío.

El repertorio de comportamientos de un sistema de población es muy limitado y depende de lo que suceda con las variables «determinantes», la natalidad y la mortalidad. Son las únicas variables posibles en un sistema sencillo integrado por un bucle reforzador y un bucle compensador. Una reserva regida por bucles reforzadores y compensadores conectados crecerá exponencialmente si el bucle compensador domina al reforzador. Se extinguirá si el bucle

compensador domina al reforzador. Se estabilizará si los dos bucles tienen la misma fuerza (véase Figura 25). O mostrará ambos comportamientos sucesivamente, uno después del otro, si la intensidad relativa de los dos bucles varía en un periodo de tiempo determinado (véase Figura 26).

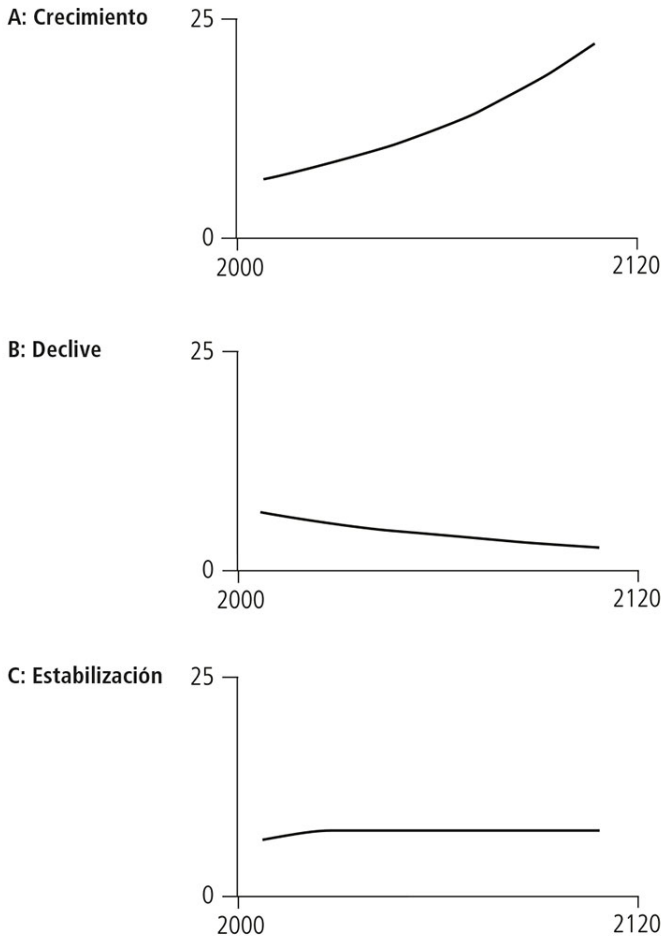


Figura 25. Tres posibles comportamientos de una población: crecimiento, declive y estabilización.

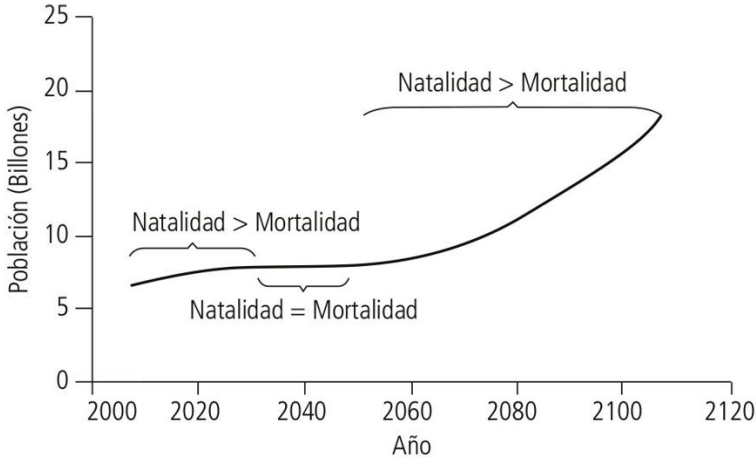


Figura 26. Dominio cambiante de los bucles de natalidad y mortalidad.

He elegido algunos casos hipotéticos de población bastante elocuentes para ilustrar una idea relacionada con los modelos y las situaciones que pueden generar. Siempre que nos enfrentamos a una situación hipotética (cada vez que alguien realiza una previsión económica, cuando se elaboran los presupuestos de una empresa, cuando se ofrece una predicción meteorológica, cuando se prevé un cambio climático, cuando un corredor de bolsa anuncia lo que le va a suceder con una empresa determinada), hay algunas preguntas que es necesario plantear para decidir hasta qué punto el modelo subyacente es una representación fiel de la realidad.

⟶ ¿Es probable que los factores determinantes intervengan de la manera que se propone? (¿Cómo es probable que se comporten la tasa de natalidad y la de mortalidad?).

⟶ En caso de actuar así, ¿reaccionaría el sistema de esa manera? (¿Es cierto que la tasa de natalidad y la tasa de mortalidad hacen que la reserva de población se comporte como nosotros pensamos que lo hará?).

⟶ ¿Qué es lo que determina los factores determinantes? (¿Qué factores afectan a la tasa de natalidad? ¿Y a la tasa de mortalidad?).

La primera pregunta no podemos responderla limitándonos a los hechos. Es una conjetura relacionada con el futuro, y el futuro es incierto por naturaleza. Aunque estemos convencidos de que algo va a suceder, es imposible demostrar que tenemos razón hasta que sucede de verdad. Un análisis de sistemas puede poner a prueba una serie de situaciones hipotéticas para ver qué sucederá si los factores determinantes actúan de diferentes maneras. Ese suele ser uno de los

propósitos del análisis de sistemas. Pero hay que saber determinar qué situación hipotética se puede tomar en serio como posibilidad real de futuro, si es que hay alguna que se pueda tomar en serio.

Por lo general, los estudios de sistemas dinámicos no pretenden *predecir* lo que sucederá. Más bien, están diseñados para examinar *lo que pasaría* si una serie de factores determinantes actuaran de distintas maneras.

La segunda pregunta —la que pretende determinar si es cierto que el sistema reaccionará realmente así— es más científica. Se pregunta por el grado de eficacia del modelo. ¿Refleja este modelo la dinámica inherente del sistema? Al margen de nuestra convicción de que los factores determinantes van a generar un comportamiento determinado, ¿*se comportaría así el sistema* en caso de que lo hicieran?

En las situaciones hipotéticas relacionadas con la población que hemos visto antes, al margen de la probabilidad que queramos atribuirles, la respuesta a esta segunda pregunta es, a grandes rasgos, que sí, que la población se comportará así si la tasa de natalidad y la de mortalidad siguen ese curso. El modelo de población que he utilizado en este caso es muy sencillo. En un modelo más detallado se diferenciarían grupos de edad, por ejemplo. Pero básicamente este modelo responde como lo haría una población real: crece bajo las condiciones en que lo haría una población real y decrece cuando una población real decrecería. Faltan las cifras, pero el patrón de conducta elemental es realista.

Los modelos de sistemas dinámicos examinan posibles futuros y plantean preguntas hipotéticas.

Ya solo nos falta la tercera pregunta. ¿Qué determina los factores determinantes?

¿Qué es lo que regula los flujos de entrada y de salida? Se trata de una pregunta relacionada con las fronteras de los sistemas. Es necesario examinar a fondo esos factores determinantes para comprobar si son realmente independientes o si se encuentran integrados en el sistema.

¿Puede, por ejemplo, el tamaño de una población afectar a la tasa de natalidad o de mortalidad? ¿Influyen otros factores —la economía, el ambiente, las tendencias sociales— en la natalidad y en la mortalidad? ¿Afecta el tamaño de la población a esos factores económicos, ambientales y sociales?

Preguntas para evaluar la validez de un modelo

1. ¿Es probable que los factores determinantes intervengan de la manera que se propone?
2. En caso afirmativo, ¿reaccionarán así los sistemas?
3. ¿Qué es lo que determina los factores determinantes?

Por supuesto, la respuesta a todas esas preguntas es afirmativa. La natalidad y la mortalidad también se rigen por bucles de retroalimentación. El tamaño de la población afecta a algunos de esos bucles, por lo menos. Este «animal» de la población no es más que una pieza de un sistema mucho más grande.[11]

Una pieza importante del sistema global que afecta a la población es la economía. La economía también se basa en esencia en otro sistema combinado de bucle reforzador y bucle compensador: la misma estructura, los mismos comportamientos que el sistema de la población (véase Figura 27).

> **La utilidad de un modelo no depende del realismo de las situaciones hipotéticas que pueden determinar su comportamiento (puesto que nadie puede conocerlas con certeza), sino del realismo de la pauta de comportamiento de su respuesta.**

Cuanto mayor sea la reserva de capital físico (maquinaria y fábricas) de la economía y la eficiencia de la producción (rendimiento por unidad de capital), mayor será el rendimiento anual (de bienes y servicios).

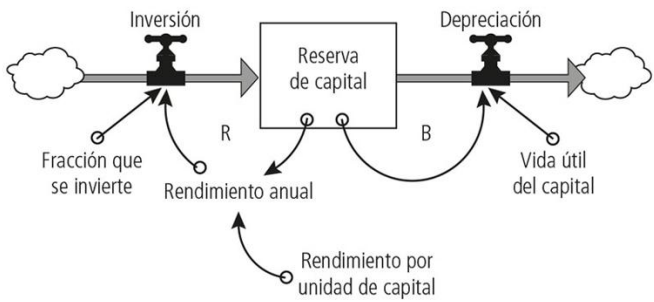


Figura 27. Al igual que una población de seres vivos, el capital económico se rige por un bucle reforzador (las inversiones) que determina el crecimiento y un bucle compensador (la depreciación) que determina el declive económico.

A mayor rendimiento, mayor capacidad de inversión para la creación de nuevo capital. Nos encontramos ante un bucle reforzador, similar al bucle de natalidad de una población. La fracción que se invierte es equivalente a la natalidad. Cuanto mayor sea la fracción de rendimiento que invierte una sociedad, más rápido crecerá su reserva de capital.

El capital físico se consume por culpa de la depreciación: la obsolescencia y el desgaste. El bucle compensador que controla la depreciación es equivalente al bucle de defunciones en una población. La «mortalidad» del capital viene determinada por la vida media del capital. Cuanto mayor sea su vida útil, menor será la fracción de capital que habrá que retirar y sustituir cada año.

Si este sistema posee la misma estructura que el sistema de la población, tendrá el mismo repertorio de comportamientos. En los

últimos tiempos, el capital mundial, al igual que la población mundial, ha estado dominado por el bucle reforzador y ha crecido de manera exponencial. En el futuro seguirá creciendo, se estabilizará o se extinguirá dependiendo del dominio del bucle reforzador de crecimiento sobre el bucle compensador de la depreciación. Eso dependerá de:

- La fracción que se invierta: el volumen de la fracción del rendimiento que la sociedad invierta en lugar de consumir;
- La eficiencia del capital: el volumen de capital que se necesita para producir un volumen determinado de rendimiento, y
- La vida media del capital.

Si se reinvierte una fracción constante del rendimiento en la reserva de capital y la eficiencia de ese capital (su capacidad para producir rendimiento) también se mantiene constante, puede suceder que la reserva de capital se reduzca, se estabilice o crezca, dependiendo de la vida del capital. En los gráficos de la Figura 28 podemos observar cómo se comporta un sistema según la variación de la vida media del capital. En el caso de que la vida del capital sea relativamente breve, la velocidad de consumo supera a la de reposición. La reinversión no sigue el ritmo de la depreciación y la economía se contrae lentamente. Cuando la depreciación y la inversión se estabilizan, la economía alcanza un equilibrio dinámico. En el caso de que la vida del capital se prolongue, la reserva de capital crece exponencialmente. Cuanto más larga sea la vida del capital, más rápido será su crecimiento.

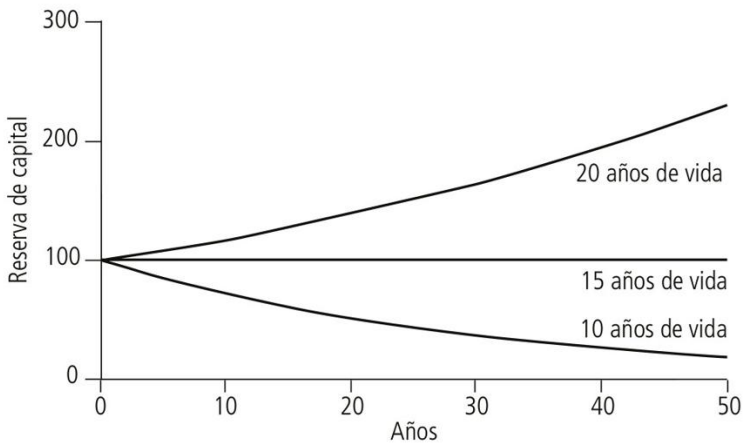


Figura 28. Crecimiento de una reserva de capital según la variación de la vida del capital. En un sistema con una ratio por unidad de capital de 1:3 y una fracción de inversión del 20%, un capital con una vida de quince años se equilibra con la depreciación. Si la vida se acorta, la reserva de capital disminuye.

Este ejemplo ilustra una vez más un principio que ya hemos observado: el aumento de una reserva no se consigue únicamente

incrementando el flujo de entrada, también se puede lograr reduciendo el flujo de salida.

Los factores que afectan a la natalidad y a la mortalidad de una población son igual de numerosos que los que determinan la ratio de rendimiento, la fracción de inversión y la vida del capital: los tipos de interés, la tecnología, la política fiscal, los hábitos de consumo y los precios, por nombrar algunos. La población también influye en la inversión, pues aporta mano de obra para el desarrollo del rendimiento e incrementa la demanda de consumo, y de esta manera contribuye a que se reduzca la fracción de inversión. El rendimiento económico también afecta a la población de muchas maneras. Por lo general, una economía más rica tiene una mejor sanidad y una tasa de defunciones más baja. Una economía más próspera, por lo general, también cuenta con una tasa de natalidad inferior.

De hecho, en casi todos los modelos de economía a largo plazo se debería establecer una relación entre la estructura de la población y la del capital para mostrar cómo interactúan entre sí. La clave del desarrollo económico es averiguar cómo evitar que el bucle reforzador de la acumulación de capital crezca más despacio que el bucle reforzador del crecimiento de la población, de manera que la gente se enriquezca en lugar de arruinarse.[12]

Los sistemas con estructuras de retroalimentación similares dan lugar a comportamientos dinámicos similares.

Probablemente os extrañará que considere que el sistema del capital es el mismo tipo de «animal de zoo» que el sistema de la población. Un sistema de producción con fábricas y remesas y flujos económicos no se parece demasiado a un sistema de población en el que la gente nace, crece, se reproduce y muere. Pero desde el punto de vista de la teoría de sistemas, estos sistemas, tan diferentes en tantos sentidos, tienen algo importante en común: una estructura basada en bucles de retroalimentación. En ambos casos, encontramos una reserva que se rige por un bucle de crecimiento reforzador y un bucle de defunción compensador.

Además, ambos experimentan un proceso de envejecimiento. Las plantas siderúrgicas y los tornos y las turbinas envejecen y mueren, al igual que las personas.

Uno de los conceptos fundamentales de la teoría de sistemas, tan importante como la observación de que los sistemas son en gran medida los responsables de su propio comportamiento, es que los sistemas con estructuras de retroalimentación similares producen comportamientos dinámicos similares, aunque su apariencia exterior sea completamente diferente.

Una población no tiene nada que ver con una economía industrial. Pero las dos tienen un rasgo en común: ambas pueden reproducirse

solas y de esa manera crecer de manera exponencial. Y ambas envejecen y mueren. La taza de café que se enfría se comporta de la misma manera que una habitación caliente que se enfría y que una sustancia radiactiva que se descompone y que una población o una economía industrial que envejece y muere. Todos estos sistemas se debilitan como consecuencia de un bucle de retroalimentación compensador.

Un sistema con retrasos: las existencias de una tienda

Imaginemos una reserva integrada por las existencias de una tienda —un concesionario de coches— con el flujo de entrada de los coches que envían desde la fábrica y el flujo de salida de las ventas de coches nuevos. Esta reserva de coches de un concesionario puede mostrar el mismo comportamiento que el agua de una bañera.

Ahora imaginemos un sistema de retroalimentación regulador concebido para mantener un volumen de existencias suficientemente elevado para poder vender coches ininterrumpidamente durante diez días (véase la Figura 29). La dueña del concesionario necesita mantener cierto nivel de existencias, porque los envíos y las ventas no coinciden exactamente. Las compras de los clientes no se pueden predecir de un día para otro. El concesionario necesita disponer además de ciertas existencias extra (una provisión) por si se produce algún retraso ocasional en los envíos.

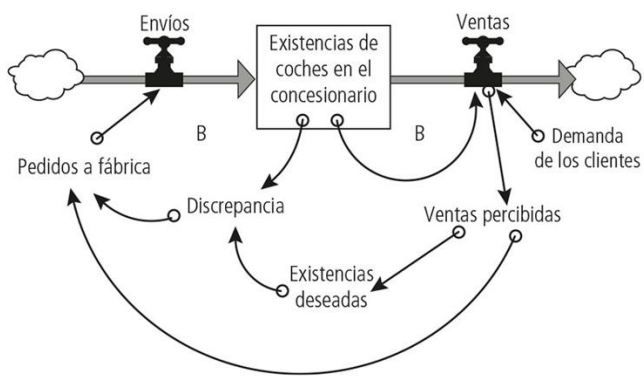


Figura 29. La estabilidad de las existencias de un concesionario de coches se logra con ayuda de dos bucles compensadores que compiten, el de las ventas y el de los envíos.

La dueña del concesionario supervisa las ventas (ventas percibidas) y si, por ejemplo, le parece que se han incrementado, regula los pedidos a fábrica para que las existencias aumenten hasta alcanzar un nuevo volumen que le brindará una cobertura de diez días a un ritmo de ventas superior. De esta manera, el incremento de las ventas se traduce en un incremento de las ventas percibidas, lo que se traduce a su vez en un aumento de la discrepancia entre las existencias reales y

las deseadas, lo que se traduce en un aumento de los pedidos, que dará lugar a más envíos, que favorecerán el crecimiento de las existencias para poder satisfacer holgadamente el ritmo de ventas superior.

Este sistema es una versión del sistema del termostato: un bucle compensador de ventas favorece el consumo de la reserva de existencias y un bucle compensador en competencia mantiene el nivel de existencias reponiendo lo que se pierde con las ventas. La Figura 30 muestra el resultado no demasiado sorprendente de un incremento en la demanda del consumidor de un 10%.

En la Figura 31, he complicado ligeramente este sencillo modelo añadiendo tres retrasos que ilustran a la perfección lo que sucede en el mundo real.

En primer lugar, tenemos un retraso de percepción, deliberado en este caso. La dueña del concesionario no reacciona inmediatamente a cualquier irregularidad que percibe en las ventas. Antes de tomar una decisión relacionada con los pedidos, promedia el total de las ventas en los cinco días anteriores para diferenciar las tendencias reales de las irregularidades y los repuntes temporales.

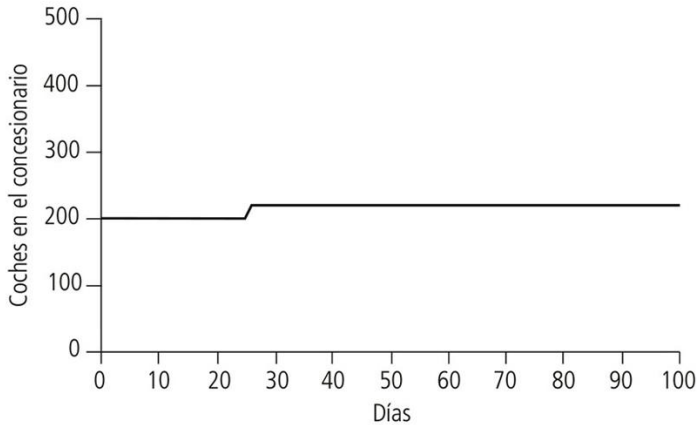


Figura 30. Existencias de un concesionario con un incremento permanente del 10% en la demanda del consumidor que comienza el día 25.

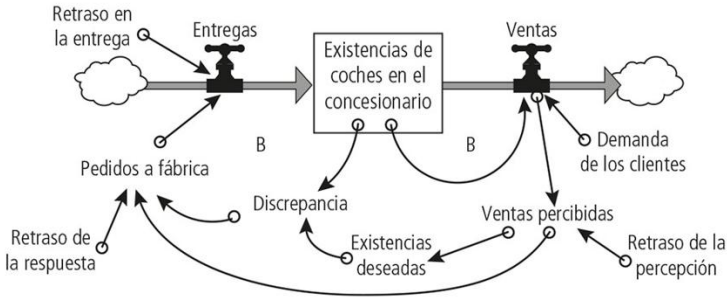


Figura 31. Existencias de un concesionario de coches con tres retrasos habituales incluidos en el esquema: un retraso de la percepción, otro retraso de la respuesta y un tercer retraso en la entrega.

En segundo lugar, tenemos un retraso de respuesta. Aunque la dueña del concesionario haya llegado a la conclusión de que hay que regular los pedidos, no lleva a cabo una corrección global en un solo pedido. Lo que hace es repartir el déficit en tres pedidos. Dicho de otra manera, realiza correcciones parciales a lo largo de tres días para cerciorarse por completo de que la tendencia es real. En tercer lugar, tenemos el retraso en el tiempo de entrega. En la fábrica, el proveedor tarda cinco días en recibir el pedido, procesarlo y enviárselo al concesionario.

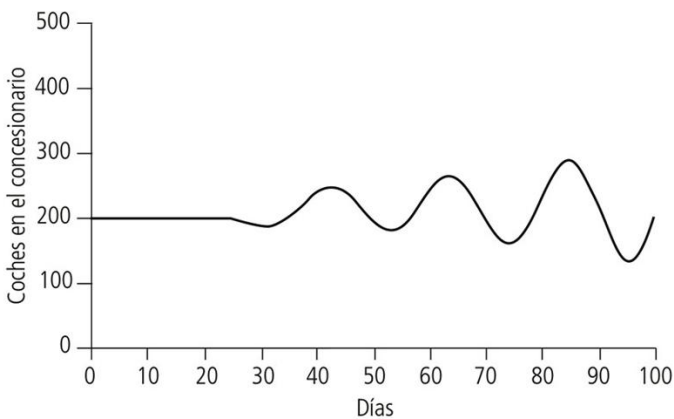


Figura 32. Reacción de las existencias a un incremento del 10% en las ventas cuando hay retrasos en el sistema.

Aunque este sistema está formado únicamente por dos bucles compensadores, como el sistema simplificado del termostato, no se comporta de la misma manera. Veamos qué sucede, por ejemplo, como muestra la Figura 32, cuando la empresa experimenta el mismo incremento permanente de un 10% en las ventas debido a un incremento en la demanda del cliente.

¡Oscilaciones! Un único repunte de las ventas provoca una

reducción de las existencias. La dueña del concesionario observa durante un periodo temporal suficiente para asegurarse que esta tasa de ventas superior se va a prolongar. A continuación, empieza a pedir más coches para cubrir la nueva tasa de ventas y recuperar las existencias. Pero los pedidos no llegan inmediatamente. En ese lapso, el volumen de existencias se reduce aún más, de manera que es necesario aumentar ligeramente el volumen de los pedidos para que las existencias se recuperen y poder contar de nuevo con un margen de cobertura de diez días.

Al final, estos pedidos de mayor volumen empiezan a llegar, y las existencias se recuperan: con creces, porque durante ese periodo de incertidumbre en que la dueña del concesionario no sabía a ciencia cierta si se trataba de una tendencia real, ha pedido de más. Ahora se da cuenta del error que ha cometido, y vuelve a recortar, pero todavía hay pedidos pendientes, así que decide reducir aún más el volumen. De hecho, resulta prácticamente inevitable que lo reduzca demasiado, pues no puede saber a ciencia cierta lo que va a suceder a continuación. Una vez más, el nivel de existencias disminuye demasiado. Y así sucesivamente. El volumen de existencias oscila en torno al nuevo nivel deseado. Como ilustra la Figura 33, ¡es increíble las consecuencias que pueden tener unos cuantos retrasos!

En un bucle de retroalimentación compensador un retraso puede provocar oscilaciones.

En un momento veremos que existen ciertos mecanismos que permiten atenuar este tipo de oscilaciones de las existencias, pero antes es importante comprender por qué ocurren. No es que la dueña del concesionario de coches sea idiota. Lo que sucede es que intenta intervenir en un sistema en el que no dispone de información puntual y en el que los retrasos físicos impiden que sus acciones ejerzan un efecto inmediato en las existencias. No sabe cómo se van a comportar sus clientes. Cuando toman una decisión, no tiene la certeza de que vayan a seguir actuando de esa manera. Cuando emite un pedido, no observa una respuesta inmediata. Esta situación de información insuficiente y retrasos físicos es muy común. Este tipo de oscilaciones se suelen encontrar con frecuencia en las existencias y en otros sistemas. Basta con intentar darse una ducha cuando la caldera donde se mezcla el agua fría con el agua caliente se encuentra muy alejada de la alcachofa de la ducha para experimentar en nuestras propias carnes los placeres de las oscilaciones de frío y de calor que genera un retraso prolongado de la respuesta.

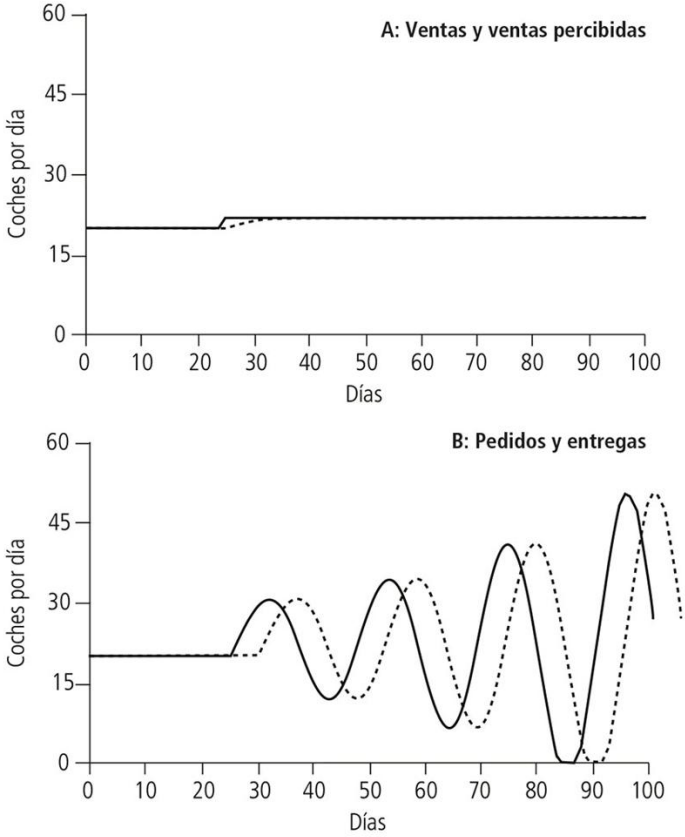


Figura 33. Respuesta de pedidos y entregas a un incremento de la demanda. La gráfica A muestra el repunte rápido pero pronunciado de las ventas el día 25, y la «percepción» de las ventas del concesionario, en virtud de la cual calcula el promedio del cambio a lo largo de tres días. La gráfica B muestra la pauta de pedidos resultante, seguida de los envíos reales de la fábrica.

Es difícil determinar cuánto retraso provocan los diferentes tipos de oscilaciones en unas circunstancias determinadas. Veamos por qué.

«Estas oscilaciones son intolerables», se dice la dueña del concesionario de coches (que es en sí misma un sistema de aprendizaje, decidida ahora a cambiar el comportamiento del sistema de existencias). «Tengo que reducir los retrasos. Con los retrasos de la fábrica, poco puedo hacer, así que tendré que ser yo misma quien reaccione más rápido. Voy a calcular el promedio de ventas cada dos días en lugar de esperar cinco, antes de corregir los pedidos».

En la Figura 34 vemos qué ocurre cuando la dueña del concesionario percibe el retraso dos días después, en lugar de cinco.

No sucede gran cosa cuando la vendedora reduce el retraso de la percepción. Si acaso, las oscilaciones en las existencias de coches se agravan ligeramente. Y si, en lugar de acortar el tiempo de percepción, intentara reducir el tiempo de reacción —compensando

los déficits en dos días en lugar de tres—, la situación empeoraría aún más, como se puede apreciar en la Figura 35.

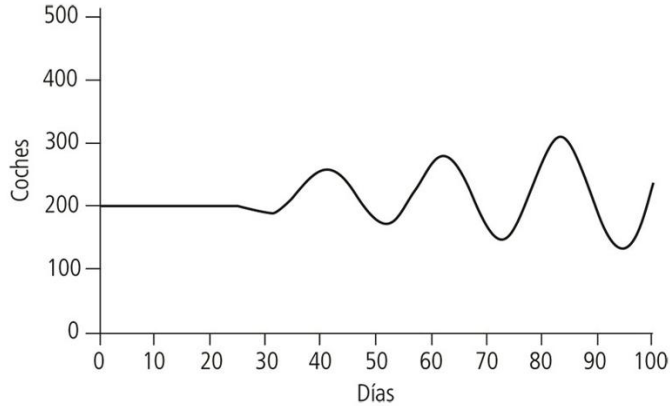


Figura 34. Respuesta de las existencias al mismo incremento de la demanda con una reducción del retraso de la percepción.

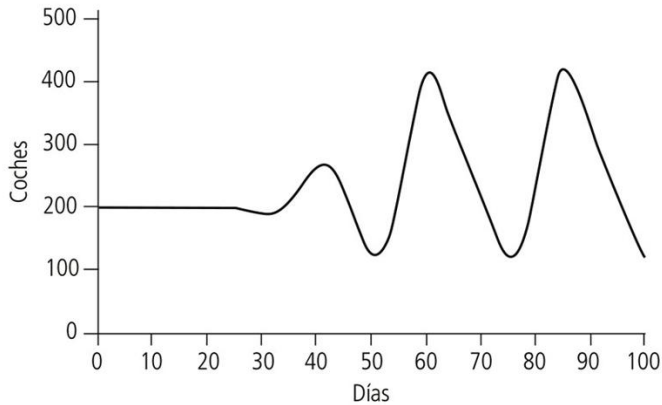


Figura 35. Respuesta de las existencias al mismo incremento de la demanda con una reducción del tiempo de reacción. ¡Al actuar con mayor rapidez, las oscilaciones se agravan aún más!

Algo tiene que cambiar y, puesto que uno de los elementos de este sistema es una persona capaz de aprender, cambiará. «Un buen recurso mal utilizado», se dice a sí misma esta vendedora sistémica cuando comprueba que una medida diseñada para estabilizar las oscilaciones ha fracasado. Esta consecuencia perversa es muy habitual: una persona que quiere reparar un sistema se siente atraída intuitivamente por un recurso que, en efecto, ejerce un efecto desmedido sobre el sistema. Y a continuación, con toda su buena intención…, ¡lo utiliza mal! Esto demuestra una vez más que el comportamiento contraintuitivo de los sistemas puede sorprendernos cuando intentamos cambiarlos.

En este caso, el problema se debe en parte a que la vendedora de coches ha reaccionado con demasiada rapidez, no con demasiada lentitud. Teniendo en cuenta la configuración de este sistema, ha reaccionado de manera exagerada. Las cosas habrían funcionado mejor si, en lugar de reducir un día el retraso de la respuesta, lo hubiera incrementado tres, como se puede observar en la Figura 36.

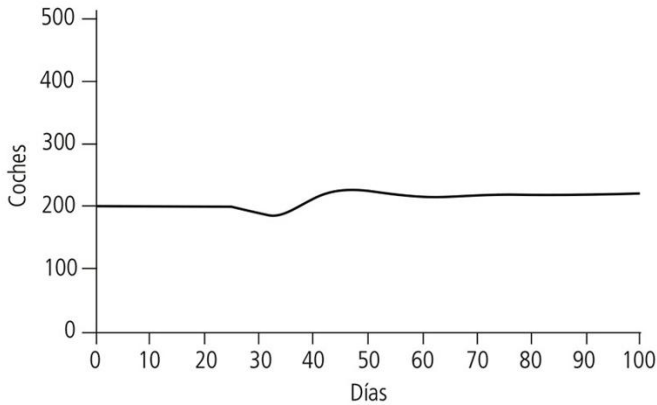


Figura 36. Reacción de las existencias al mismo incremento en la demanda con un tiempo de reacción ralentizado.

Con este cambio, las oscilaciones se atenúan enormemente y el sistema encuentra un nuevo equilibrio de una manera bastante eficaz.

El retraso más importante en este sistema es el único que se encuentra fuera del alcance de la vendedora de coches. Se trata del tiempo que tardan en enviar los coches desde la fábrica. Pero, aunque no pueda cambiar esa parte del sistema, puede aprender a gestionar las existencias de una manera bastante eficiente.

Los retrasos son una presencia generalizada en los sistemas y condicionan profundamente su comportamiento. **Alterar la duración de un retraso puede provocar un gran cambio en el comportamiento de un sistema** (o no, dependiendo del tipo de retraso y de la duración relativa de otros retrasos).

La variación de los retrasos que afectan a un sistema puede mejorar o dificultar su gestión. No es de extrañar que los teóricos de los sistemas nos obsesionemos hasta el fanatismo con el problema de los retrasos. Siempre estamos alerta para localizar los retrasos de los sistemas, para determinar su duración, para averiguar si afectan a un flujo de información o a un proceso físico. No podemos llegar a comprender el comportamiento dinámico de los sistemas a menos que aprendamos a localizar y a calcular la duración de los retrasos. Y sabemos que algunos retrasos pueden convertirse en recursos tremendamente poderosos. Prolongarlos o acortarlos puede provocar cambios importantes en el comportamiento de los sistemas.

En términos generales, el problema de las existencias de una tienda

puede parecer trivial y fácil de solucionar. Pero pensemos en las existencias de todos los automóviles sin vender de Estados Unidos. Las fluctuaciones de la demanda de coches no solo afectan a la producción de las plantas de montaje y de las fábricas de repuestos, sino también a las plantas siderúrgicas, a las fábricas de caucho y de cristal, a los productores textiles y de energía. En todas las partes de este sistema se producen retrasos de percepción, de producción, de entrega y de construcción. Analicemos ahora la relación entre la producción de coches y el empleo: si se incrementa la producción, se incrementará el número de empleos, que permitirá que más gente pueda comprar coches. Se trata de un bucle reforzador que también funciona en la dirección opuesta: a menor producción, menos empleos, menor venta de coches, menor producción. Ahora introduzcamos un nuevo bucle reforzador, el de los especuladores que compran y venden acciones de las compañías de automóviles y de accesorios para automóviles basándose en su rendimiento reciente, de tal manera que un incremento importante de la producción provoca un incremento importante del precio de las acciones, y viceversa.

Ese sistema inmenso, con industrias interconectadas que reaccionan a sus correspondientes retrasos, que se atraen mutuamente a través de sus oscilaciones y se desarrollan gracias al efecto multiplicador y a los especuladores, es la causa principal de los ciclos económicos. Esos ciclos no los provocan los gobernantes, aunque los gobernantes pueden contribuir en gran medida a atenuar o intensificar el optimismo asociado a los repuntes y el sufrimiento de las crisis económicas. Los sistemas económicos son extremadamente complejos, están atestados de bucles de retroalimentación compensadores con retrasos y son inherentemente oscilatorios.[13]

Sistemas con dos reservas

Una reserva renovable limitada por una reserva no renovable: una economía basada en el petróleo

Los sistemas que he mostrado hasta ahora no estaban sometidos a las restricciones que les puede imponer su entorno. La reserva de capital del modelo de la economía industrial no precisaba materias primas para producir. La población no necesitaba comida. El combustible del sistema de caldera con termostato nunca se agotaba. Estos sencillos modelos de sistemas eran capaces de funcionar de acuerdo con su dinámica interna ilimitada, y nosotros podíamos analizar esa dinámica.

Pero en el mundo real cualquier entidad física está rodeada por un entorno con el que interactúa. Una empresa necesita un suministro constante de energía, materiales, trabajadores, directivos y clientes. Una cosecha de maíz necesita agua y nutrientes y pesticidas para protegerse de las plagas. Una población necesita comida y agua y

espacio para vivir, y si se trata de una población humana, necesita trabajo, educación, sanidad y muchas otras cosas. Cualquier entidad que utilice energía para procesar materias primas necesita un lugar donde depositar los residuos o un procedimiento para transportarlos.

Por tanto, cualquier sistema físico en desarrollo se encontrará tarde o temprano con algún tipo de restricción. Esa restricción adoptará la forma de un bucle compensador que afectará en cierto modo al dominio del bucle reforzador que impulsa el comportamiento de crecimiento, bien fortaleciendo el flujo de entrada o bien debilitando el flujo de salida.

El crecimiento en un entorno restringido es muy común, tanto que los teóricos de sistemas lo definimos como el arquetipo de «los límites del crecimiento» (en el capítulo 5 analizaremos más arquetipos: estructuras de sistemas habituales que provocan pautas de comportamiento familiares). Siempre que encontramos una entidad en desarrollo, ya sea una población, una empresa, una cuenta bancaria, un rumor, una epidemia o las ventas de un nuevo producto, buscamos los bucles reforzadores que la impulsan y los bucles compensadores que acabarán limitándola. Sabemos que esos bucles están ahí, aunque todavía no dominen el comportamiento del sistema, porque en el mundo real ningún sistema físico puede desarrollarse eternamente. Hasta el producto más novedoso acabará saturando el mercado con el tiempo. Una reacción en cadena en una central o en una bomba nuclear se quedará sin combustible. Llegado el momento, un virus no podrá infectar a más personas. Una economía puede verse restringida por el capital físico o por el capital monetario o por la mano de obra o por los mercados o por los directivos o por los recursos o por la polución.

Al igual que los recursos que aportan los flujos de entrada a una reserva, una limitación derivada de la polución puede ser renovable o no renovable. Será no renovable si el medio ambiente es incapaz de absorber la sustancia contaminante o de conseguir que se vuelva inofensiva. Será renovable si el medio ambiente posee la capacidad limitada —y variable por lo general— de acabar con ella. Por tanto, todo lo que hemos dicho de los sistemas limitados por recursos se aplica con la misma dinámica, pero con una dirección de flujo contraria, a los sistemas limitados por la polución.

Los sistemas físicos que crecen exponencialmente deben contar al menos con un bucle reforzador que impulse el crecimiento y al menos con un bucle compensador que limite el crecimiento, porque ningún sistema puede crecer eternamente en un entorno finito.

Los límites en un sistema en desarrollo pueden ser temporales o permanentes. Puede suceder que el sistema encuentre la forma de sortearlos durante un tiempo breve o prolongado, pero al final tiene que producirse algún tipo de acuerdo, de tal manera que el sistema se

adapte a la limitación, o la limitación al sistema, o que ambos se regulen mutuamente. Esa solución genera algunas dinámicas interesantes.

No es lo mismo que los bucles compensadores limitadores tengan su origen en un recurso renovable o en un recurso no renovable. Y la diferencia no radica en la posibilidad de que el crecimiento puede prolongarse o no prolongarse indefinidamente, sino en el probable desenlace del crecimiento.

Veamos, para empezar, un sistema de capital cuyo negocio consiste en extraer un recurso no renovable: por ejemplo, una compañía petrolífera que acaba de descubrir un nuevo e inmenso campo petrolífero. Véase la Figura 37.

El diagrama de la Figura 37 puede parecer complicado a simple vista, pero no es más complejo que el sistema de desarrollo de capital que hemos visto antes, solo que en este caso hemos sustituido el «rendimiento» por los «beneficios». La depreciación es el bucle compensador que ya conocemos: a mayor reserva de capital, más maquinaria y más refinerías que se averían y se desgastan, de manera que la reserva de capital se reduce. En este caso, la reserva de capital de equipamiento de extracción y refinado de petróleo se deprecia a los veinte años: lo que significa que 1/20 (o el 5%) de la reserva se retira de la circulación cada año. La reserva aumenta gracias a la inversión de los beneficios que se obtienen gracias a la extracción de petróleo. Así es como funciona el bucle reforzador: un mayor volumen de capital permite una mayor extracción de recurso, lo cual genera más beneficios que se pueden reinvertir. Partimos del supuesto de que la compañía se ha fijado un objetivo del 5% de crecimiento anual de su capital. Si no se obtiene un beneficio suficiente para crecer un 5%, la compañía invertirá los beneficios que pueda.

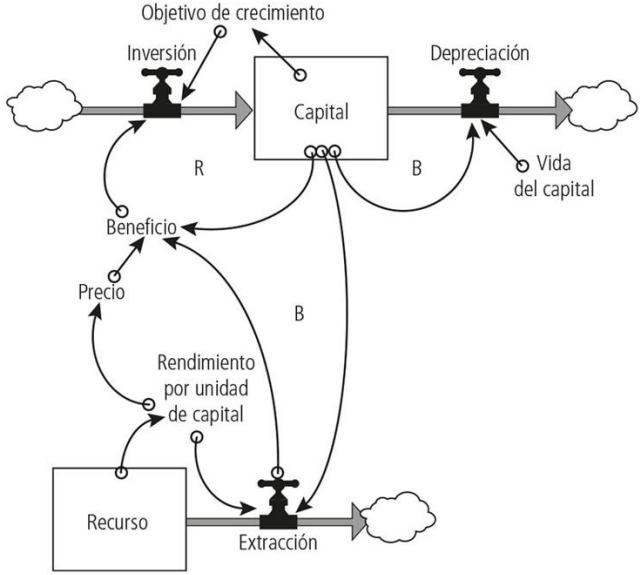


Figura 37. Capital económico con un bucle reforzador de crecimiento limitado por un recurso no renovable.

El beneficio son los ingresos menos los costes. Los ingresos en esta sencilla representación no son más que el precio del petróleo por la cantidad total de crudo que extrae la compañía. El coste es el capital por los gastos de explotación (energía, mano de obra, materiales, etc.) por unidad de capital. De momento, para simplificar, supondremos que tanto el precio como los gastos de explotación por unidad de capital se mantienen constantes.

Lo que no se supone que sea constante es el rendimiento del recurso por unidad de capital. Dado que se trata de un recurso no renovable, como el petróleo, la reserva que alimenta el flujo de extracción no cuenta con un flujo de entrada. A medida que se extrae el recurso —a medida que el pozo petrolífero se agota—, resulta más difícil obtener el siguiente barril de crudo. Lo que queda del recurso se encuentra ahora a mayor profundidad, o en un estado más diluido o, en el caso del petróleo, la presión natural para que salga a la superficie es menor. Cada vez se precisan medidas técnicas más costosas y sofisticadas para seguir extrayendo el recurso.

He aquí un nuevo bucle de retroalimentación compensador que en última instancia será el que determine el crecimiento del capital: a mayor capital, mayor ritmo de extracción. A mayor ritmo de extracción, menor reserva de recurso. A menor reserva de recurso, menor rendimiento del recurso por unidad de capital y, por tanto, menor beneficio (suponiendo que los precios se mantengan constantes) y menor inversión y, en consecuencia, menor ritmo de

crecimiento de capital. Podríamos suponer que el agotamiento del recurso se retroalimenta a través del coste operativo y de la eficiencia del capital. En el mundo real suceden ambas cosas. En ambos casos, la pauta de comportamiento resultante es la misma: la dinámica clásica del agotamiento de un recurso (véase Figura 38).

Al principio, el sistema cuenta con una reserva subterránea de petróleo suficiente para abastecer la escala inicial de la operación durante 200 años. Pero la extracción efectiva alcanza su cota máxima a los cuarenta años, debido al sorprendente efecto del crecimiento exponencial en la extracción. Con una tasa de inversión del 10% anual, la reserva de capital y, por tanto, la tasa de extracción crecen un 5% al año y, de este modo, se duplican en los primeros catorce años. A los veintiocho años, mientras que la reserva de capital se ha cuadruplicado, la extracción empieza a quedarse rezagada debido al rendimiento decreciente por unidad de capital. A los cincuenta años, el coste de mantenimiento de la reserva de capital es superior a los ingresos de la extracción de recurso, así que ya no se obtienen beneficios suficientes para que la inversión se mantenga por encima de la depreciación. Se pone fin a la operación repentinamente, cuando disminuye la reserva de capital. La última parte del recurso, la más costosa, permanece bajo tierra; no resulta rentable extraerla.

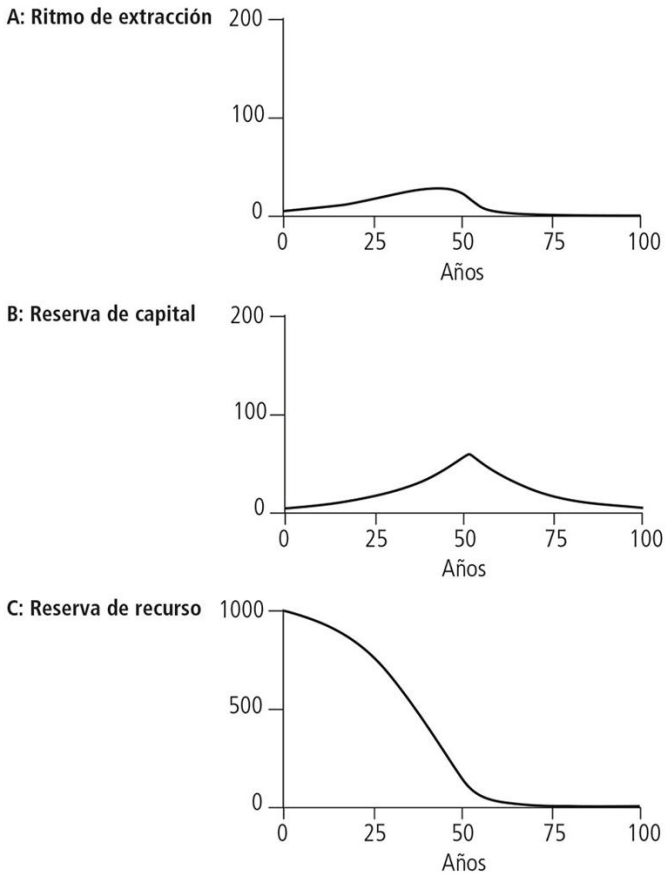


Figura 38. La extracción (A) genera unos beneficios que permiten el crecimiento del capital (B) mientras se agota el recurso no renovable (C). A mayor acumulación de capital, más rápido se agota el recurso.

¿Qué sucedería si el recurso original duplicara o cuadruplicara las previsiones de los geólogos? Por supuesto, esto afectaría profundamente a la cantidad total de petróleo que se puede extraer de este campo. Pero si se mantiene el objetivo del 10% de reinversión anual, que genera un 5% de crecimiento de capital anual, cada duplicación del recurso solo incrementaría en 14 años el plazo que se tarda en alcanzar la cota máxima de la tasa de extracción, y la durabilidad de cualquier trabajo o comunidad que dependan de esta industria (véase Figura 39).

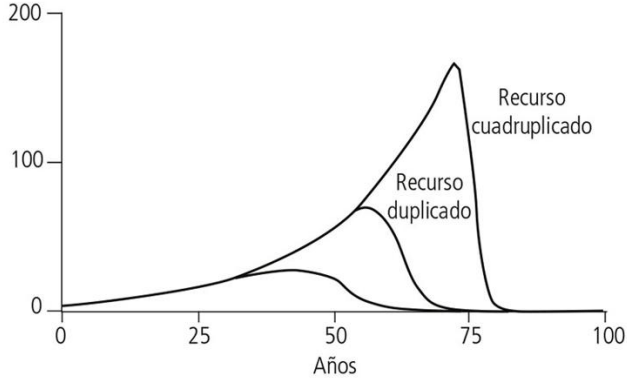


Figura 39. Extracción con un recurso dos veces o cuatro veces más grande. La duplicación del recurso solo incrementaría en 14 años el plazo que se tarda en alcanzar la cota máxima de la tasa de extracción.

En el caso de las reservas de capital que dependen de un recurso no renovable, cuanto más rápido y elevado sea el crecimiento, más grave y rápida será la caída. Teniendo en cuenta que la extracción o el uso crecen exponencialmente, una duplicación o una cuadruplicación del recurso no renovable no nos aporta una cantidad de tiempo añadido suficiente para desarrollar alternativas.

Una cantidad que avanza exponencialmente hacia una restricción o un límite alcanza ese límite en un tiempo sorprendentemente corto.

Si lo que queremos es extraer el recurso y ganar dinero lo más rápido que podamos, entonces el volumen máximo del recurso es el valor más importante en este sistema. Si, por ejemplo, trabajamos en una mina o en un campo petrolífero y lo que nos preocupa es lo que nos va a durar el trabajo y la estabilidad de la comunidad, debemos tener en cuenta dos valores importantes: el volumen del recurso y la tasa de crecimiento de capital deseada (este es un buen ejemplo para demostrar que el objetivo de un bucle de retroalimentación afecta de una manera crucial al comportamiento de un sistema). La disyuntiva real a la que nos enfrentamos cuando hemos de gestionar un recurso no renovable es decidir si queremos hacer mucho dinero muy rápido o si queremos hacer menos dinero durante un periodo de tiempo más prolongado.

El gráfico de la Figura 40 muestra la evolución de la tasa de extracción en un periodo de tiempo determinado, con una tasa de crecimiento variable superior a la depreciación del 3%, del 5% y del 7%. Con una tasa de crecimiento del 7%, la extracción de este «suministro de 200 años» alcanza su cota máxima a los cuarenta años.

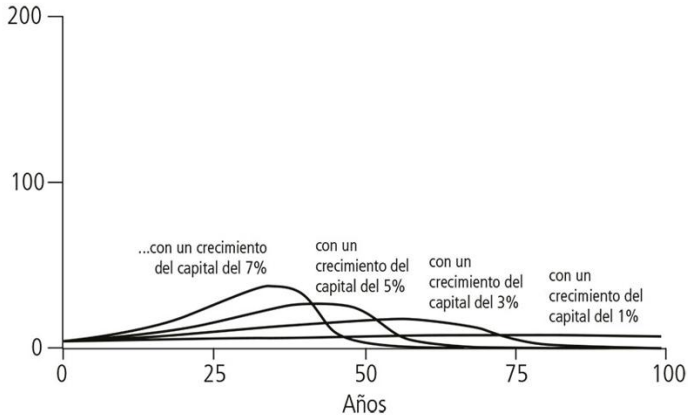


Figura 40. La cota máxima de extracción se alcanza mucho antes cuando la fracción de beneficios reinvertidos se incrementa.

Imaginemos las repercusiones que puede tener esta opción no solo sobre los beneficios de la compañía, sino sobre el entorno social y natural de la región.

He dicho que, para simplificar, partiríamos de la base de que los precios se mantienen constantes. Pero ¿y si esto no fuera cierto? Supongamos que a corto plazo este recurso se vuelve tan necesario para los consumidores que un incremento de los precios no genera una disminución de la demanda. En ese caso, cuando el recurso empieza a escasear, los precios suben repentinamente, como se puede observar en la Figura 41.

Esta subida de precios genera mayores beneficios para la industria, de manera que las inversiones se incrementan, la reserva de capital sigue creciendo y se pueden extraer los recursos restantes, más costosos. Si comparamos la Figura 41 con la Figura 38, donde los precios se mantenían constantes, podemos observar que la principal consecuencia del repunte de los precios es que la reserva de capital aumenta antes de colapsar.

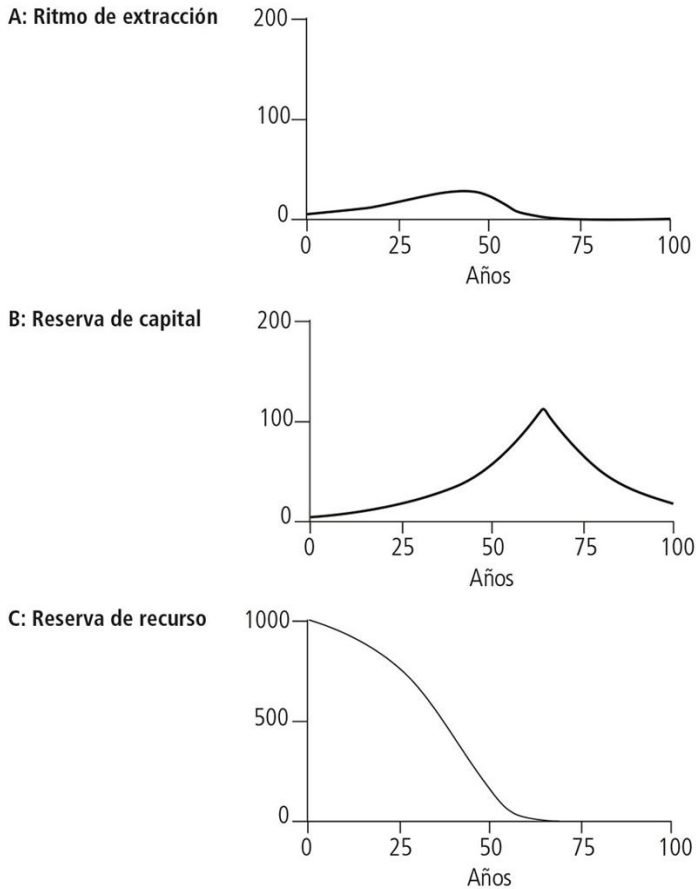


Figura 41. Cuando los precios suben por culpa del incremento de la escasez, se generan más beneficios para reinvertir, y la reserva de capital puede crecer (B) y garantizar que la extracción se prolongue durante más tiempo (A). La consecuencia es que el recurso (C) se agota aún más rápido en esta última etapa. A: Tasa de extracción – B: Reserva de capital – C: Reserva de recurso.

Este mismo comportamiento se produce, por cierto, si los precios se mantienen pero los avances tecnológicos permiten reducir los gastos de explotación, como ha sucedido, por ejemplo, gracias al desarrollo de innovadoras técnicas de recuperación de pozos petrolíferos, a los procesos de tratamiento y enriquecimiento que permiten extraer taconita de baja calidad de minas de hierro agotadas y al proceso de cianuración, que favorece una extracción rentable de los residuos de las minas de oro y de plata.

Todos sabemos que las minas y los depósitos de combustible fósil y los acuíferos subterráneos se pueden agotar. Podemos encontrar ciudades mineras y campos petrolíferos abandonados en cualquier parte del mundo que demuestran que el comportamiento que acabamos de describir es una realidad. Las compañías de recursos

también entienden esta dinámica. Mucho antes de que el recurso se agote en un lugar determinado y se reduzca, por tanto, la eficiencia del capital, las compañías desvían las inversiones y las dedican al descubrimiento y al desarrollo de nuevas reservas en otros lugares. Pero, dado que existen los límites locales, ¿no existirán también límites globales?

Podéis reflexionar sobre esta posibilidad, o discutirla con otra persona que defienda la postura contraria. Por mi parte, me limitaré a señalar que, de acuerdo con la dinámica del agotamiento, cuanto mayor sea el volumen inicial de la reserva de recurso, más descubrimientos se realizarán, los bucles de crecimiento eludirán durante más tiempo a los bucles de control, la reserva de capital y la tasa de extracción de esta reserva se incrementarán y la ruina económica que siempre sucede a la cota más alta de producción se alcanzará antes y será más rápida y más grave.

A no ser que la economía cambie y empiece a depender por completo de los recursos renovables.

Una reserva renovable limitada por una reserva renovable: una economía pesquera

Pensemos en un sistema de capital idéntico al anterior, con la salvedad de que ahora la reserva de recurso cuenta con un flujo de entrada que la convierte en un recurso renovable. El recurso renovable de este sistema podría ser el pescado y la reserva de capital, los barcos pesqueros. Pero también podrían ser árboles y aserraderos, o pastos y vacas. Los recursos biológicos renovables, como la pesca o los árboles o la hierba, se pueden regenerar por sí mismos con un bucle de retroalimentación reforzador. Los recursos renovables no biológicos, como la luz solar o el viento o el agua de un río, no se regeneran a través de un bucle reforzador, sino a través de una aportación estable que sigue rellenando la reserva del recurso sea cual sea su estado actual. Esta misma estructura de «sistema de recurso renovable» es la que sigue una epidemia del virus del catarro. Se reserva algunas víctimas para que puedan contraer otro resfriado. Las ventas de un producto que la gente necesita comprar con regularidad también forman un sistema de recurso renovable; la reserva de clientes potenciales se regenera constantemente. Lo mismo sucede con la plaga de un insecto que destruye solo una parte de una planta; la planta puede regenerarse y el insecto puede comer más. En todos estos casos, existe un flujo de entrada que sigue alimentando la reserva de recurso limitador (como se puede observar en la Figura 42).

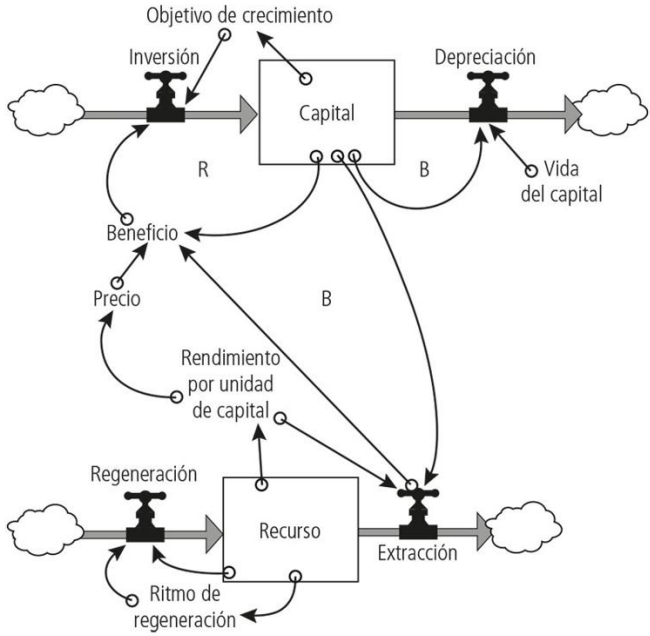


Figura 42. Capital económico con su bucle de crecimiento reforzado limitado por un recurso renovable.

Veamos el ejemplo de la pesca. Una vez más, supongamos que la vida del capital es de veinte años y que la industria crecerá, si es posible, un 5% al año. Como en el caso del recurso no renovable, supongamos que, cuando el recurso es más escaso, su obtención resulta más costosa en términos de capital. Para encontrar los bancos de peces más recónditos se necesitan barcos más grandes que puedan recorrer mayores distancias, equipados con sónar. O se necesitan redes de arrastre de kilómetros de longitud para pescarlos. O sistemas de refrigeración a bordo para llevarlos hasta el puerto desde una distancia mayor. Todo esto requiere más capital.

El ritmo de regeneración de los peces no es constante, depende de la cantidad de peces que haya en la zona: de la densidad. Si la densidad es elevada, la tasa de reproducción es prácticamente nula, limitada por el alimento y el espacio disponible. Si la población de peces disminuye ligeramente, puede regenerarse a un ritmo cada vez mayor, porque los peces aprovechan los nutrientes y el espacio del ecosistema que no se están utilizando. Pero en un momento dado la tasa de reproducción de los peces alcanza su cota máxima. Si la población volviera a disminuir, no se reproduciría cada vez más rápido, sino cada vez más lento. Esto sucede porque los peces no pueden encontrarse o porque otra especie ha ocupado su nicho.

Este modelo simplificado de economía pesquera se ve influido por

tres relaciones no lineales: el precio (a mayor escasez de peces, los precios suben); el ritmo de regeneración (cuanto más se reducen las poblaciones de peces, menos crían; lo mismo sucede en caso de superpoblación); y el rendimiento por unidad de capital (la eficiencia de la tecnología y las prácticas pesqueras).

Este sistema puede dar lugar a numerosos comportamientos. En la Figura 43 podemos observar uno de ellos.

La Figura 43 nos muestra que al principio el capital y las capturas experimentan un crecimiento exponencial. La población de peces (la reserva de recurso) disminuye, pero de esta manera se estimula la tasa de reproducción de los peces. El recurso puede generar durante décadas una tasa de capturas que crece de manera exponencial. Al final, las capturas aumentan demasiado y la población de peces se reduce tanto que los beneficios de la flota pesquera disminuyen. La retroalimentación compensadora del descenso de capturas que reduce los beneficios hace que las inversiones decrezcan con la rapidez suficiente para que se alcance un equilibrio entre la flota pesquera y el recurso de la pesca. La flota no puede crecer eternamente, pero puede mantener un ritmo de capturas elevado y constante para siempre.

Sin embargo, un cambio insignificante en la intensidad del bucle de retroalimentación compensador que controla el sistema, a través del rendimiento por unidad de capital, puede provocar un cambio sorprendente. Supongamos que, en un intento por aumentar las capturas, la industria pesquera consigue desarrollar un avance tecnológico que permite mejorar la eficiencia de los barcos (un sónar, por ejemplo, para encontrar los peces más difíciles de pescar). Cuando la población de peces disminuye, la capacidad de la flota para capturar la misma cantidad de pescado por barco se mantiene durante un poco más de tiempo (véase Figura 44).

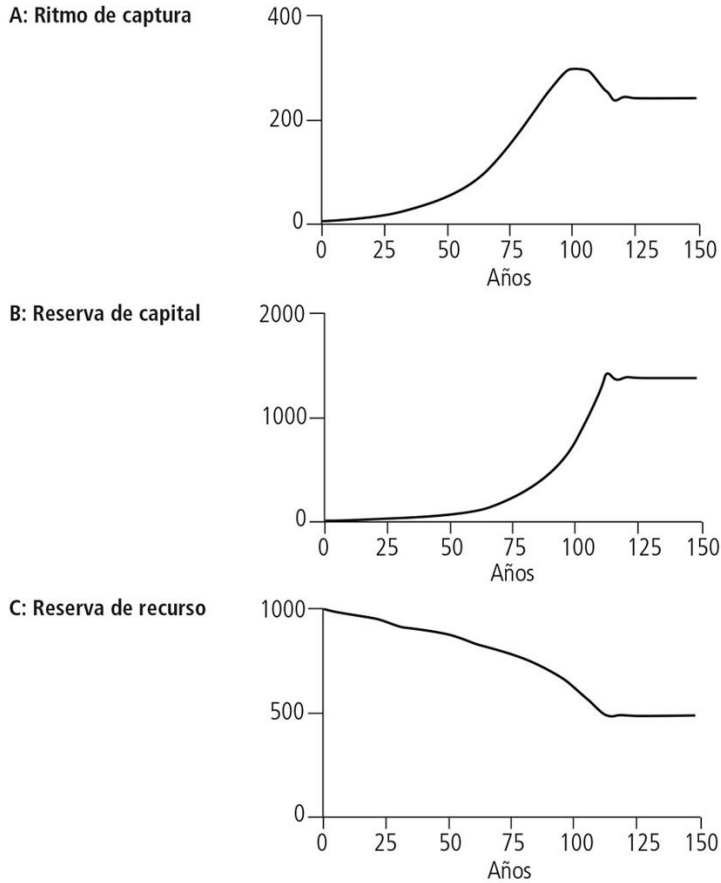


Figura 43. El volumen de captura anual (A) genera unos beneficios que favorecen el crecimiento de la reserva de capital (B), pero las capturas se estabilizan, después de un pequeño exceso, en este caso. La consecuencia de la estabilización de las capturas es que la reserva de recurso (C) también se estabiliza.

La Figura 44 nos muestra una vez más que un recurso tremendamente eficaz se puede utilizar equivocadamente. Este avance técnico, que favorece un incremento de la productividad de todos Si este avance tecnológico se perfecciona aún más, los barcos pueden seguir obteniendo rendimiento económico, aunque la densidad de peces experimente una severa reducción. La consecuencia será la aniquilación casi completa tanto de los peces como de la industria pesquera: el equivalente marítimo a la desertización. El pescado se ha convertido, a efectos prácticos, en un recurso no renovable. La Figura 45 ilustra esta situación hipotética.

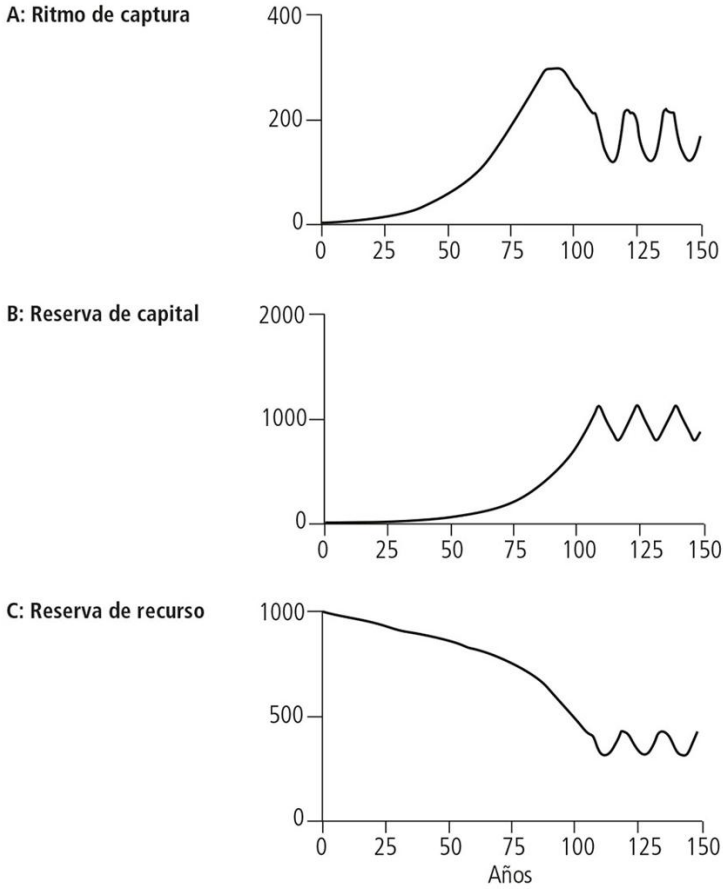


Figura 44. Un ligero incremento del rendimiento por unidad de capital —un avance tecnológico cada vez más eficiente en este caso— genera una pauta de exceso y oscilación en torno a un valor estable en el ritmo de capturas (A), en la reserva de capital económico (B) y en la reserva de recurso.

En muchas economías reales basadas en recursos renovables, a diferencia de lo que sucede en nuestro sencillo modelo, la escasísima población superviviente conserva el potencial para recuperarse, una vez que se retira el capital que impulsa las capturas. El modelo exacto se repite pasadas unas décadas. Este tipo de ciclos a largo plazo de recursos renovables se han observado, por ejemplo, en la industria maderera de Nueva Inglaterra, que en la actualidad se encuentra en su tercer ciclo de crecimiento, sobretala, ruina y regeneración eventual del recurso. Pero esto no sucede con todos los recursos. Cada vez es más habitual que los avances tecnológicos y la eficiencia en las capturas acaben provocando la extinción de estas poblaciones.

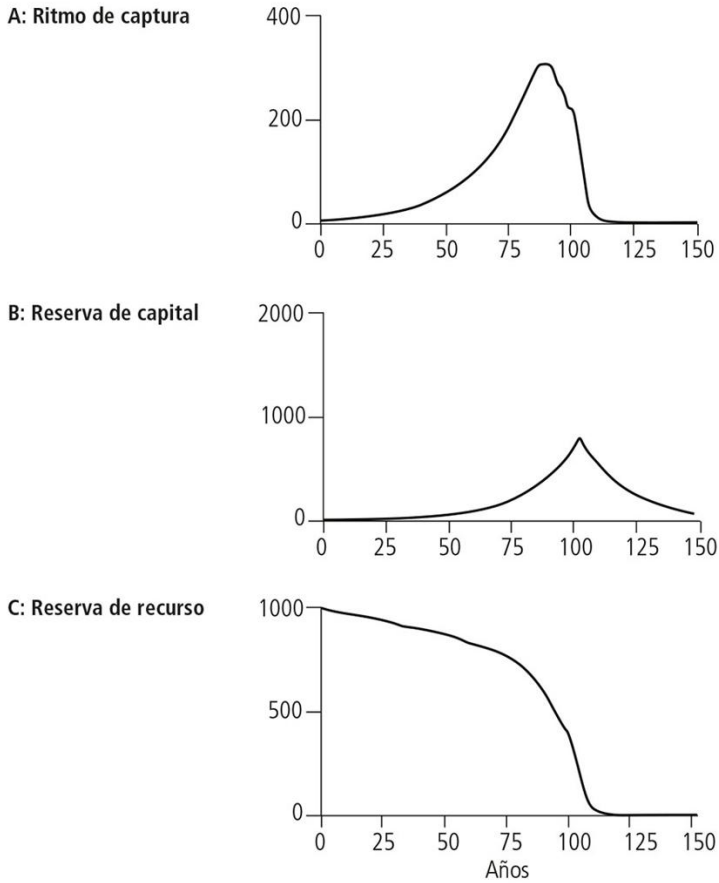


Figura 45. Un incremento aún mayor en el rendimiento por unidad de capital genera pautas de exceso y colapso en la captura (A), en el capital económico (B) y en el recurso (C).

Los recursos no renovables tienen una reserva limitada.
La totalidad de la reserva se encuentra disponible y se puede extraer a cualquier ritmo (la limitación principal es el capital de extracción). Pero dado que la reserva no se renueva, a mayor ritmo de extracción, menor duración del recurso.

La supervivencia a la sobreexplotación de un sistema integrado por un recurso natural depende de lo que le sucede cuando se encuentra gravemente diezmado. Una población de peces muy reducida puede volverse especialmente vulnerable a la polución o a las tormentas o a la ausencia de diversidad genética. Si se trata de un bosque o de una pradera, los suelos expuestos pueden volverse vulnerables a la erosión. O su nicho ecológico prácticamente vacío puede ser ocupado por un competidor. Aunque también puede darse el caso de que el recurso diezmado sobreviva y se recupere.

Los recursos renovables tienen un *flujo* limitado.
Pueden resistir la extracción o la explotación indefinidamente, pero solo a un ritmo de flujo finito equivalente al ritmo de regeneración. Si se extraen más rápido de lo que se

pueden regenerar, pueden rebasar un umbral crítico y convertirse, a todos los efectos, en recursos no renovables.

He mostrado tres comportamientos posibles de este sistema de recurso renovable:

⟶ Sobreexplotación y adaptación a un equilibrio sostenible.

⟶ Sobreexplotación más allá del equilibrio seguida de oscilaciones en torno a ese equilibrio.

⟶ Sobreexplotación seguida del colapso del recurso y de la industria que depende de él.

En el mundo real, el desenlace depende de dos factores. El primero es el umbral crítico más allá del cual la capacidad de regeneración de la población queda dañada. El segundo es la rapidez y la efectividad del bucle de retroalimentación compensador que ralentiza el crecimiento del capital cuando el recurso se está agotando. Si el bucle actúa con la rapidez suficiente para interrumpir el crecimiento de capital antes de que se alcance el umbral crítico, el sistema recuperará el equilibrio fácilmente. Si el bucle compensador es más lento y menos efectivo, el sistema oscilará. Si el bucle compensador es muy débil, de manera que el capital puede seguir creciendo aun cuando el recurso ha rebasado el umbral de auto-rregeneración, el recurso y la industria colapsarán.

Los límites del crecimiento, tanto los renovables como los no renovables, no permiten que una reserva física crezca eternamente, pero las restricciones que imponen son bastante diferentes desde un punto de vista dinámico. La diferencia radica en la diferencia entre las reservas y los flujos.

El truco, como con todas las posibilidades del comportamiento de los sistemas complejos, es reconocer las estructuras que contienen determinados comportamientos latentes, y las condiciones que favorecen esos comportamientos —y, siempre que sea posible, ordenar las estructuras y las condiciones para reducir la probabilidad de que se produzcan comportamientos destructivos y fomentar los comportamientos beneficiosos.

[9] Albert Einstein, «On the Method of Theoretical Physics», *The Herbert Spencer Lecture*, dictada en Oxford (10 de junio de 1933); también publicada en *Philosophy of Science* 1, núm. 2 (abril de 1934), pp. 163-169.

[10] El concepto de «zoo de sistemas» lo inventó el profesor Hartmut Bossel, de la Universidad de Kassel, Alemania. Sus tres libros más recientes sobre esta noción contienen descripciones de sistemas y modelos de simulación que documentan más de cien «animales», algunos de los cuales se han incluido en una versión modificada en este libro. Hartmut Bossel, *System Zoo Simulation Models – Vol. 1: Elementary Systems, Physics, Engineering*; *Vol. 2: Climate, Ecosystems, Resources; Vol. 3: Economy, Society, Development* (Norderstedt, Alemania, Books on Demand, 2007).

[11] Para un modelo más completo, véase el capítulo «Population Sector», en Dennis L. Meadows *et al.*, *Dynamics of Growth in a Finite World*, Cambridge, Massachusetts, Wright-Allen Press, 1974.

[12] Para un ejemplo, véase el segundo capítulo de Donella Meadows, Jørgen Randers y Dennis Meadows, *Limits to Growth: The 30-Year Update*, White River Junction, VT, Chelsea

Green Publishing Co., 2004. [Trad. cast.: *Los límites del crecimiento: 30 años después*, Barcelona, Galaxia Gutenberg, 2006].

[13] Jay W. Forrester, «The System Dynamics National Model: Macrobehavior from Microstructure», en P. M. Milling y E. O. K. Zahn, eds., *Computer-Based Management of Complex Systems: International System Dynamics Conference*, Berlín, Springer-Verlag, 1989.

PARTE II

LOS SISTEMAS Y NOSOTROS

Por qué los sistemas funcionan tan bien

«Si el mecanismo de la tierra como un todo es bueno, entonces cada parte es buena, lo entendamos o no. Si la biota, en el transcurso de eones, ha construido algo que nos gusta pero no entendemos, ¿quién sería el idiota que se desharía de partes que aparentemente no poseen utilidad alguna? Guardar todas las tuercas y las ruedecillas es la primera precaución que debe tomar cualquier persona inteligente que se dedique a montar y desmontar máquinas para entretenerse».

ALDO LEOPOLD, guardabosques[14]

En el capítulo dos hemos visto algunos sistemas sencillos que generan un comportamiento propio basado en su propia estructura. Algunos de ellos son bastante refinados —y sobreviven a las sacudidas del mundo — y, dentro de ciertos límites, recuperan la compostura y consiguen llevar a cabo su tarea: mantener una habitación a una temperatura determinada, diezmar un campo petrolífero o encontrar un equilibrio entre el tamaño de una flota pesquera y la productividad de un recurso pesquero.

Si se les somete a demasiadas presiones, los sistemas pueden perfectamente destruirse o mostrar un comportamiento que no se había observado hasta entonces. Pero, por lo general, se las arreglan relativamente bien. Y en eso reside la belleza de los sistemas: son capaces de funcionar muy bien. Cuando los sistemas funcionan bien, se advierte una especie de armonía en su funcionamiento. Pensemos en una comunidad cuyos miembros se esfuerzan al máximo para echar una mano después de un huracán. La gente trabaja de sol a sol para auxiliar a las víctimas; salen a relucir destrezas y talentos desconocidos hasta ese momento; una vez que termina el estado de emergencia, la vida vuelve a la «normalidad».

¿Por qué los sistemas funcionan tan bien? Pensad en las propiedades de algunos sistemas tremendamente funcionales —máquinas, comunidades humanas o ecosistemas— con los que estamos familiarizados. Existen muchas probabilidades de que hayáis observado en ellos una de estas tres características: resiliencia, capacidad de organizarse a sí mismos o jerarquía.

Resiliencia

«Someter a un sistema a la camisa de fuerza de la constancia puede favorecer el desarrollo de la fragilidad».

C. S. HOLLING, ecólogo[15]

La **resiliencia** se puede definir de muchas maneras, dependiendo de la rama de la ingeniería ecológica o de la ciencia de los sistemas en la que nos posicionemos. Para nuestros fines, nos bastará con la

definición del diccionario: «Capacidad de un material, mecanismo o sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido. Elasticidad. Capacidad para recuperar la fuerza, el estado de ánimo, el buen humor o cualquier otro aspecto rápidamente». La resiliencia es una forma de medir la capacidad de un sistema para sobrevivir y persistir en un entorno variable. Lo contrario de la resiliencia es la fragilidad o la rigidez.

La resiliencia es el resultado de una rica estructura integrada por numerosos bucles de retroalimentación que pueden ayudar a recuperarse a un sistema incluso después de una enorme perturbación. Un único bucle compensador hace que la reserva de un sistema vuelva a su estado deseado. La resiliencia la provocan varios bucles de ese tipo que operan a través de diferentes mecanismos, en diferentes escalas temporales y de manera redundante: si uno falla, se pone en marcha el siguiente.

La resiliencia en su versión más sofisticada —o meta-resiliencia, si lo preferís— consiste en una serie de bucles de retroalimentación que pueden *restituir o reconstruir bucles de retroalimentación*. Existe incluso una meta-meta-resiliencia aún más sofisticada generada por unos bucles de retroalimentación capaces de *aprender, crear, diseñar y desarrollar* estructuras de recuperación aún más complejas. Los sistemas capaces de reaccionar de esta manera se organizan a sí mismos, que será la siguiente característica sorprendente de los sistemas que analizaremos.

El cuerpo humano es un ejemplo increíble de sistema resiliente. Es capaz de ahuyentar miles de invasores diferentes, de soportar grandes variaciones de temperatura y de suministro de alimentos; es capaz de redistribuir el caudal sanguíneo, de curar heridas, de acelerar o ralentizar el metabolismo y de compensar en cierta medida las partes perdidas o defectuosas. Si a todo esto le añadimos una inteligencia capaz de organizarse a sí misma y de aprender, de socializar, de desarrollar instrumentos tecnológicos e incluso de trasplantar partes del cuerpo, tendremos un sistema formidablemente resiliente, aunque no sea infinito, pues hasta ahora ningún cuerpo inteligente humano ha conseguido desarrollar la resiliencia suficiente para evitar que su cuerpo o el de cualquiera de sus congéneres acabe muriendo.

La resiliencia siempre tiene límites.

Los ecosistemas también son increíblemente resilientes, integrados por numerosas especies que se controlan mutuamente, que son capaces de desplazarse a través de un espacio, de multiplicarse o de disminuir en un periodo de tiempo determinado en respuesta al clima y a la disponibilidad de nutrientes y al impacto de la acción humana. Las poblaciones y los ecosistemas también poseen la capacidad de

«aprender» y de evolucionar a través de una variabilidad genética increíblemente rica. Son capaces, si disponen de tiempo suficiente, de inventar sistemas totalmente nuevos para aprovechar la variación de las oportunidades de supervivencia.

La resiliencia no equivale a mantenerse estable o constante a lo largo del tiempo. Los sistemas resilientes pueden ser enormemente dinámicos. Las oscilaciones a corto plazo, los brotes periódicos, los ciclos prolongados de sucesión, apogeo y destrucción pueden ser situaciones habituales que la resiliencia intenta superar.

Y, a la inversa, los sistemas que son constantes a lo largo del tiempo no tienen por qué ser resilientes. La distinción entre estabilidad estática y resiliencia es importante. La estabilidad estática es algo que se puede ver; se mide a través de la variación de la situación de un sistema semana a semana o año a año. La resiliencia puede ser muy difícil de observar, a menos que se excedan sus límites, se superen y se dañen los bucles compensadores y se quiebre la estructura del sistema. Dado que la resiliencia no se puede percibir a menos que se observe el sistema en su conjunto, la gente suele sacrificar la resiliencia en favor de la estabilidad, o de la productividad, o de otras propiedades del sistema que se reconocen inmediatamente.

⟶ Si se les inyecta a las vacas una hormona del crecimiento diseñada genéticamente, se consigue incrementar la producción de leche del animal sin tener que incrementar proporcionalmente la ingesta de alimentos. La hormona logra que se desvíe cierta cantidad de energía metabólica que habitualmente se destina a otras funciones corporales y se dedique a la producción de leche (a lo largo de siglos, se ha hecho algo parecido para criar ganado, pero no en esa misma medida). El coste del incremento de producción es una disminución de la resiliencia. La vaca goza de peor salud, vive menos, depende más del control humano.

⟶ La precisión en las entregas de productos a los minoristas o de piezas a los fabricantes ha reducido la inestabilidad de las existencias y ha rebajado los costes en muchas industrias. Sin embargo, el modelo de precisión de entregas también ha generado una mayor vulnerabilidad del sistema de producción a los contratiempos en el suministro de combustible, en el tráfico, en los errores informáticos, en la disponibilidad de mano de obra y en otros posibles problemas técnicos.

⟶ Cientos de años de gestión intensiva de los bosques europeos han hecho que los ecosistemas nativos se sustituyan gradualmente por plantaciones de una misma especie de árboles que viven lo mismo y que no suelen ser autóctonos. La idea es que estos bosques produzcan un mayor volumen de madera y de pulpa a un ritmo elevado indefinidamente. Sin embargo, al desaparecer la

variedad de especies que interactúan entre sí y extraen y devuelven al suelo diversas combinaciones de nutrientes, estos bosques han perdido su resiliencia. Parecen especialmente vulnerables a una nueva forma de agresión: la contaminación industrial.

El origen de muchas enfermedades crónicas, como el cáncer y las enfermedades coronarias, se encuentra en los fallos de los mecanismos de resiliencia que reparan el ADN, mantienen flexibles los vasos sanguíneos o controlan la división celular. La causa de muchos desastres ecológicos es la pérdida de resiliencia que se produce cuando se sacan algunas especies de sus ecosistemas, se altera la composición química y la biología del suelo o se acumulan toxinas. Algunas organizaciones importantes de diversa índole, desde las empresas a los gobiernos, pierden su resiliencia sencillamente porque los mecanismos de retroalimentación que les ayudan a observar y a reaccionar a lo que sucede en su entorno tienen que superar numerosos estratos de retraso y de distorsión (analizaremos este tema enseguida, cuando hablemos de las jerarquías).

Para mí, la resiliencia es una especie de meseta sobre la cual el sistema puede actuar, desarrollar sus funciones normales con seguridad. Un sistema resiliente dispone de una gran meseta, de un espacio enorme por el que puede pasearse; un espacio con paredes livianas, elásticas, que le permitirán recuperar su forma cuando se acerque a un límite peligroso. Cuando un sistema pierde resiliencia, esta meseta se contrae y las paredes protectoras se vuelven más bajas y más rígidas, hasta que el sistema empieza a caminar sobre el filo de la navaja, y es probable que se caiga hacia uno u otro lado cuando se mueva. La pérdida de resiliencia puede sobrevenir por sorpresa, porque el sistema suele prestar mucha más atención a su actuación que al espacio donde la desarrolla. Un día hace algo que ya ha hecho cien veces antes y se rompe.

Para gestionar un sistema no solo debemos tener en cuenta la productividad o la estabilidad, sino también la resiliencia: la capacidad para recuperarse de una alteración, la capacidad para restaurarse o repararse.

La conciencia de la resiliencia nos permite encontrar muchas maneras de conservar o mejorar la capacidad de recuperación del propio sistema. Esa conciencia es la idea que subyace a la creación de ecosistemas naturales en los campos de cultivo para que los depredadores puedan participar de una manera activa en el control de plagas. Es la idea en la que se basa la medicina «holística», que no solo intenta curar una enfermedad, sino reforzar además la resistencia interna del cuerpo. Es la idea que subyace a los programas de ayuda que no se limitan a repartir alimentos o dinero, sino que intentan cambiar las circunstancias que impiden que la gente pueda conseguir

sus propios alimentos y ganarse la vida.

Organización autónoma

> *«No creo que [la evolución] sea una serie de accidentes cuya trayectoria venga determinada exclusivamente por las variaciones del medio ambiente a lo largo de la historia de la Tierra y por la consiguiente lucha por la supervivencia, […] sino que se rige por leyes concretas. […] El descubrimiento de esas leyes constituye una de las tareas más importantes para el futuro».*
>
> LUDWING VON BERTALANFFY, biólogo[16]

La característica más maravillosa de algunos sistemas complejos es su capacidad para aprender, diversificarse, complicarse, evolucionar. La capacidad de un solo óvulo fecundado para generar, por sí solo, un organismo increíblemente complejo, como una rana, un pollo o una persona. La capacidad de la naturaleza para diversificarse en millones de especies maravillosas a partir de unos cuantos compuestos orgánicos en un charco. La capacidad de una sociedad para transformar con el paso del tiempo la idea de la combustión del carbón, la producción de vapor, el bombeo de agua y la diversificación del trabajo en una planta de montaje de automóviles, en una ciudad llena de rascacielos, en una red global de comunicaciones.

Esta capacidad que poseen los sistemas para transformar su propia estructura en otra más compleja se denomina capacidad de **organización autónoma.** Una versión sencilla, mecanicista, de este fenómeno, la encontramos en un copo de nieve, o en el hielo que se forma en una ventana mal aislada, o en una solución sobresaturada que forma de pronto un bosque de cristales. Una versión más compleja sería la de una semilla que brota, o la del bebé que aprende a hablar, o la de los vecinos que deciden unirse para intentar evitar un vertido de residuos tóxicos.

La organización autónoma es una propiedad tan común, sobre todo en los sistemas biológicos, que la menospreciamos. Si nos fijáramos en ella, nos quedaríamos perplejos al observar cómo actúa en los sistemas que se desarrollan en el mundo en que vivimos. Y si no ignoráramos casi por completo esta propiedad, lo mejor que podríamos hacer es favorecer la capacidad de organización autónoma de los sistemas de los que formamos parte, en lugar de destruirla.

Al igual que la resiliencia, la organización autónoma se suele sacrificar en aras de la productividad a corto plazo y de la estabilidad. La productividad y la estabilidad son las excusas habituales para transformar a los seres humanos creativos en accesorios mecánicos de los procesos de producción. O para limitar la variabilidad genética de las plantas de cultivo. O para instaurar estructuras burocráticas y teorías del conocimiento que tratan a las personas como si no fueran más que números.

La organización autónoma genera heterogeneidad e

imprevisibilidad. Puede crear estructuras y formas de hacer las cosas totalmente nuevas. Requiere libertad y experimentación y una cierta dosis de desorden. Estas condiciones que favorecen la organización autónoma a menudo pueden asustar a los individuos y representar una amenaza para las estructuras de poder. Como consecuencia de ello, los sistemas educativos suelen restringir la capacidad creativa de los niños en lugar de estimularla. Las políticas económicas tienden por lo general a apoyar a las empresas poderosas, en lugar de ayudar a las que están empezando. Y muchos gobiernos prefieren que la gente no desarrolle demasiado esta capacidad de organización autónoma.

Por fortuna, es una propiedad tan esencial de los sistemas biológicos que ni siquiera la estructura de poder más autoritaria puede acabar con ella del todo, aunque se puede anular durante periodos prolongados, estériles, despiadados y aburridos en nombre de la ley y del orden.

Antes, los teóricos de sistemas pensaban que la organización autónoma era una propiedad tan compleja que nunca podrían llegar a entenderla. Se utilizaban ordenadores para crear modelos mecanicistas, «deterministas», en detrimento de los modelos evolutivos, porque se sospechaba, sin pensarlo demasiado, que los sistemas evolutivos, sencillamente, no se podían entender.

Sin embargo, los nuevos descubrimientos parecen indicar que con un puñado de principios de organización sencillos se pueden explicar estructuras de organización autónoma increíblemente diversas. Imaginemos un triángulo equilátero. Si añadimos en la mitad de cada uno de sus lados otro triángulo equilátero tres veces más pequeño, y después añadimos a cada lado de los nuevos triángulos otro tres veces menor, obtendremos una figura que se conoce como un copo de nieve de Koch (véase la Figura 46). El perímetro de esta figura posee una longitud enorme, pero cabe dentro de un círculo. Esta estructura es un ejemplo sencillo de geometría fractal, un ámbito de las matemáticas y del arte poblado por complejas figuras que se forman con ayuda de reglas relativamente sencillas.

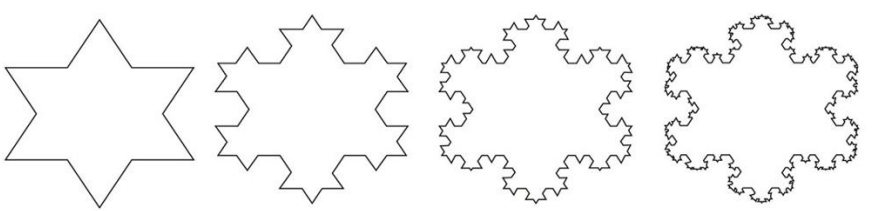


Figura 46. El elegante e intrincado dibujo del copo de nieve de Koch que se muestra aquí se puede desarrollar a partir de una serie limitada de principios organizadores o reglas de decisión.

La elegante, hermosa e intrincada estructura de un helecho también

se puede generar por ordenador siguiendo unas cuantas reglas fractales sencillas. Es probable que la división de una única célula hasta convertirse en un ser humano siga una serie de reglas geométricas similares, básicas y sencillas, pero capaces de generar complejidad (la geometría fractal explica por qué si extendiéramos todos los alveolos de un pulmón humano normal tendrían la misma superficie que una pista de tenis).

Muchos sistemas poseen la propiedad de la organización autónoma: la capacidad de estructurarse de manera autónoma, de crear nuevas estructuras, de aprender, de diversificarse y adquirir una complejidad mayor.

Hasta las formas más complejas de organización autónoma pueden surgir de reglas de organización relativamente sencillas, o no.

He aquí algunos ejemplos más de reglas de organización sencillas que han servido para desarrollar sistemas autónomos de una enorme complejidad:

- Todas las formas de vida, desde las secuoyas a las amebas, pasando por los elefantes, se basan en las reglas de organización básicas de la composición química del ADN, el ARN y las moléculas de proteína.
- La revolución agrícola y todo lo que vino después comenzó con la idea asombrosa y sencilla de que la gente se podía asentar en un único lugar, apropiarse de la tierra, seleccionar y cultivar plantas.
- «Dios creó el universo con la Tierra en el centro, los campos con el castillo en el centro y la humanidad con la Iglesia en el centro», el principio de organización a partir del cual se desarrollaron las complejas estructuras sociales y físicas de Europa en la Edad Media.
- «Dios y la moral son ideas desfasadas; la gente debería ser objetiva y científica, apropiarse de los medios de producción y multiplicarlos, y considerar que las personas y la naturaleza son instrumentos de producción», los principios de organización de la Revolución Industrial.

Partiendo de reglas de organización autónoma muy sencillas se pueden construir estructuras tecnológicas, estructuras físicas, organizaciones y culturas enormes y diversificadas.

La ciencia ha descubierto que los sistemas de organización autónoma pueden surgir de unas reglas sencillas. La ciencia, que es en sí misma un sistema de organización autónoma, considera que toda la complejidad del mundo puede reducirse, en última instancia, a unas cuantas reglas sencillas. Pero la ciencia aún no sabe si esto sucede en realidad.

Jerarquía

«Así, la pulga, dicen los naturalistas,
lleva a cuestas pulgas pequeñitas,
quienes cargan a su vez con sus pulguitas,
y así hasta el infinito».
JONATHAN SWIFT,
poeta del siglo XVIII[17]

En el proceso de creación de nuevas estructuras y de creciente complejidad, los sistemas que se organizan de manera autónoma suelen generar **jerarquías.**

El mundo, o al menos las partes del mundo que los humanos creen comprender, se organiza en subsistemas que se juntan para crear subsistemas mayores, que se unen a su vez para dar lugar a subsistemas aún más grandes. Una célula del hígado es un subsistema de un órgano que también es un subsistema de una persona como organismo, y esa persona es el subsistema de una familia, un equipo de atletismo, un grupo musical y demás. Estos grupos son subsistemas de un pueblo o de una ciudad y, después, de una nación y, después, del sistema socioeconómico global que se encuentra dentro del sistema de la biosfera. Esta organización de sistemas y subsistemas se denomina jerarquía.

Los sistemas empresariales, militares, ecológicos, económicos, los seres vivos se ordenan en jerarquías. No se trata de una organización ni mucho menos accidental. Cuando los subsistemas son capaces de cuidarse, de regularse, de mantenerse, plegándose, sin embargo, a las necesidades de un sistema superior, mientras este sistema superior coordina y perfecciona el funcionamiento de los subsistemas, surge una estructura estable, resiliente y eficiente. Es difícil imaginar que surgiera cualquier otro tipo de organización.

* * *

Interludio. Por qué el universo está organizado en jerarquías: una fábula

Había una vez dos relojeros llamados Hora y Tempus. Los dos fabricaban relojes de calidad, y no les faltaban los clientes. Tenían la tienda atestada y el teléfono nunca dejaba de sonar para encargarles más relojes. Con el paso de los años, sin embargo, Hora se hizo rico, pero Tempus se arruinó. Eso sucedió porque Hora había descubierto el principio de la jerarquía. […]

Cada uno de los relojes que fabricaban tanto Hora como Tempus estaba formado por unas mil piezas. Tempus trabajaba de tal manera que, si tenía uno medio terminado y se veía obligado a interrumpir el trabajo —para atender el teléfono, por ejemplo—, las piezas se desmontaban. Cuando volvía a ponerse manos a la obra, tenía que empezar desde cero. Cuantas más llamadas recibía, más difícil le resultaba encontrar tiempo suficiente, sin interrupciones, para

terminar un reloj.

Los relojes de Hora no eran menos complejos que los de Tempus, pero él montaba subconjuntos estables de diez piezas. Después, engarzaba estos subconjuntos para formar un conjunto mayor; y uniendo diez subconjuntos construía un reloj entero. Cuando Hora se veía obligado a dejar un reloj a medias para contestar el teléfono, perdía mucho menos tiempo. Por tanto, trabajaba mucho más rápido y de una manera mucho más eficiente que Tempus.

Los sistemas complejos solo pueden desarrollarse a partir de sistemas simples si cuentan con formas intermedias estables. Las formas complejas resultantes se ordenarán de manera natural de acuerdo con una jerarquía. Puede que por esa razón las jerarquías sean tan habituales en los sistemas que la naturaleza nos presenta. Entre todas las formas complejas posibles, las jerarquías son las únicas que han tenido tiempo para evolucionar.[18]

* * *

Las jerarquías son un invento genial de los sistemas, no solo porque les confieren estabilidad y resiliencia, sino también porque reducen la cantidad de información que las distintas partes del sistema tienen que controlar.

En los sistemas jerárquicos, las relaciones que tienen lugar *dentro* de cada subsistema son más densas e intensas que las relaciones que median *entre* los distintos subsistemas. Todos los subsistemas están conectados entre sí, pero no con la misma intensidad. En una universidad, las personas que pertenecen a la misma facultad hablan más entre ellas que con las de otras facultades. Las células del hígado mantienen una relación más estrecha entre ellas que la que entablan con las células del corazón. Si estas conexiones de información diferenciadas que se establecen dentro de cada nivel de la jerarquía y entre los diferentes niveles se diseñan bien, los retrasos de retroalimentación se reducen. Ningún nivel se satura de información. El sistema funciona de manera eficiente y resiliente.

Los sistemas jerárquicos se pueden descomponer parcialmente. Se pueden desmontar de manera que los subsistemas con sus conexiones de información especialmente densas puedan funcionar, al menos parcialmente, como sistemas independientes. Cuando las jerarquías se rompen, por lo general se parten por los límites que delimitan los distintos subsistemas que las componen. Podemos aprender muchas cosas si desmontamos los sistemas en diferentes niveles jerárquicos —células u órganos, por ejemplo— y los estudiamos por separado. Por tanto, como dirían los teóricos de sistemas, la disección reduccionista de la ciencia convencional tiene muchas cosas que enseñarnos. Sin embargo, no debemos pasar por alto las importantes relaciones que

mantienen unido cada subsistema a los demás y los niveles superiores de la jerarquía, si no queremos sorpresas.

Si padecemos una enfermedad hepática, por ejemplo, el médico nos la tratará sin prestar demasiada atención al corazón o a las amígdalas (si nos mantenemos en el mismo nivel jerárquico) o a la personalidad (si descendemos uno o dos niveles) o al ADN de los núcleos de las células hepáticas (si descendemos varios niveles). Sin embargo, existen suficientes excepciones a esa regla para insistir en la necesidad de retroceder y evaluar la jerarquía en su totalidad. Puede que, por su profesión, el paciente esté expuesto a un agente químico que le está dañando el hígado. Quizá el origen de la enfermedad se encuentra en un mal funcionamiento del ADN.

Cabe la posibilidad de que haya que cambiar de forma de pensar con el paso del tiempo, pues los sistemas que se organizan de manera autónoma desarrollan nuevos grados de jerarquía e integración. Hace tiempo, los sistemas energéticos de las naciones se podían aislar unos de otros casi por completo. Pero esto ha cambiado. Puede que la gente cuyas ideas no han evolucionado al mismo ritmo que la economía energética se quede pasmada al descubrir hasta qué punto depende de los recursos y las decisiones que se toman en la otra punta del planeta.

Podemos observar cómo los sistemas capaces de organizarse de manera autónoma forman jerarquías. Un trabajador autónomo con un gran volumen de trabajo se ve obligado a contratar a algunos ayudantes. Una organización pequeña, no oficial, capta muchos miembros y aumenta su presupuesto, y un buen día los miembros dicen: «Oye, necesitamos a alguien que organice todo esto». Un grupo de células se dividen para encargarse de una función específica y generan un sistema circulatorio subsidiario para nutrir a todas las células y un sistema nervioso subsidiario para coordinarlas.

Las jerarquías evolucionan de abajo arriba: desde las piezas básicas hasta formar un todo, desde las células hasta el órgano y hasta el organismo; desde el individuo al equipo, desde la producción real a la gestión de la producción. Los primeros agricultores decidieron unirse y formar ciudades para protegerse y para mejorar la eficiencia del comercio. La vida comenzó con una bacteria unicelular, no con un elefante. El propósito original de una jerarquía es siempre ayudar a los subsistemas que la han generado a hacer mejor su trabajo. Por desgracia, esto es algo que tanto los niveles superiores como los inferiores de una jerarquía profundamente articulada pueden olvidar con facilidad. Por tanto, muchos sistemas no cumplen nuestros objetivos por un mal funcionamiento de las jerarquías.

Si el jugador de un equipo está más interesado en la gloria personal que en la victoria del equipo, puede llevar a su equipo a la derrota. Si una célula se libera de su función jerárquica y empieza a multiplicarse

a lo loco, aparece lo que conocemos como cáncer. Si los estudiantes consideran que su propósito es obtener buenas notas en lugar de intentar aprender, surge el engaño y otras conductas contraproducentes. Si una empresa soborna al gobierno para que la favorezca, las ventajas del mercado competitivo y el bien del conjunto de la sociedad se reducirán.

Cuando los objetivos de un subsistema se imponen a los de la totalidad del sistema, el comportamiento resultante se denomina **suboptimización.**

Igual de perjudicial que la suboptimización, por supuesto, es el problema de un exceso de control central. Si el cerebro controlara cada célula con tal firmeza que la célula no pudiera realizar sus funciones de mantenimiento autónomo, el organismo podría morir. Si las reglas y las regulaciones generales impidieran a los estudiantes o al profesorado explorar libremente nuevos campos de conocimiento, el propósito de la universidad no se cumpliría. El entrenador de un equipo puede entrometerse en las decisiones que toma en un partido un buen jugador y perjudicar al equipo. El exceso de control económico vertical, tanto en las empresas como en las naciones, ha generado algunas de las peores catástrofes de la historia, catástrofes que no hemos superado por completo ni mucho menos.

Para que un sistema sea profundamente funcional, la jerarquía debe lograr un equilibrio entre el bienestar, las libertades y las responsabilidades de los subsistemas y del sistema general: debe ejercerse un control central suficiente para lograr una coordinación orientada a la consecución del objetivo general del sistema, y concederse una autonomía suficiente para conseguir que todos los subsistemas prosperen, funcionen y se organicen de manera autónoma.

Los sistemas jerárquicos evolucionan de abajo arriba. El propósito de los estratos superiores de la jerarquía es satisfacer los propósitos de los estratos inferiores.

La resiliencia, la organización autónoma y la jerarquía son tres de las razones que explican por qué los sistemas dinámicos pueden funcionar tan bien. Si favorecemos o gestionamos estas propiedades, el sistema puede mejorar su capacidad para funcionar perfectamente a largo plazo: puede convertirse en un sistema sostenible. Pero, en cualquier caso, el comportamiento de los sistemas también puede depararnos muchas sorpresas.

[14] Aldo Leopold, *Round River*, Nueva York, Oxford University Press, 1993.

[15] C. S. Holling, ed., *Adaptive Environmental Assessment and Management*, Chichester, Reino Unido, John Wiley & Sons, 1978, p. 34.

[16] Ludwig von Bertalanffy, *Problems of Life: An Evaluation of Modern Biological Thought*, Nueva York, John Wiley & Sons Inc., 1952, p. 105.

[17] Jonathan Swift, «Poetry, a Rhapsody, 1733», en *The Poetical Works of Jonathan Swift*, Boston, Little Brown & Co., 1959.

[18] Paráfrasis de Herbert Simon, *The Sciences of the Artificial*, Cambridge Massachusetts, MIT Press, 1969, pp. 90-91 y 98-99.

04

Por qué los sistemas nos sorprenden

«El problema […] es que somos terriblemente ignorantes. Hasta los más entendidos. […] La adquisición de conocimiento siempre implica la revelación de nuestra ignorancia: prácticamente consiste en la revelación de nuestra ignorancia. Lo primero que nos enseña nuestro conocimiento del mundo es que es mucho más grande que lo que podamos llegar a conocer de él».

WENDELL BERRY, escritor y agricultor de Kentucky[19]

Puede que el comportamiento de los sistemas más simples del zoo os haya provocado cierta perplejidad. A mí me siguen sorprendiendo, aunque llevo años explicando su funcionamiento. La sorpresa que nos provocan no solo pone de manifiesto la naturaleza de los sistemas dinámicos, sino también la de nuestro conocimiento. La interacción entre lo que yo creo que sé de los sistemas dinámicos y mi experiencia del mundo real es una auténtica lección de humildad. Siempre me recuerda tres verdades:

1. Todo lo que creemos que sabemos del mundo es un modelo. Toda palabra y todo lenguaje es un modelo. Todos los mapas y las estadísticas, los libros y las bases de datos, las ecuaciones y los programas informáticos son modelos. También lo son mis distintas representaciones mentales del mundo: mis modelos *mentales*. Ninguno de ellos es ni será nunca el mundo real.
2. Nuestros modelos suelen ajustarse a la realidad con bastante precisión. Por eso nuestra especie se ha adaptado tan bien a la biosfera. Los modelos mentales que desarrollamos a partir de la experiencia directa, íntima, de la naturaleza, de las personas y de las organizaciones que nos rodean son especialmente complejos y sofisticados.
3. Sin embargo, por otro lado, nuestros modelos no ofrecen ni por asomo una representación exhaustiva del mundo. Por eso cometemos errores y nos sorprendemos con tanta frecuencia. Mentalmente, solo somos capaces de controlar unas cuantas variables al mismo tiempo. Con frecuencia extraemos conclusiones ilógicas de hipótesis correctas o conclusiones lógicas de hipótesis incorrectas. A la mayoría de los humanos, por ejemplo, nos sorprende el volumen de crecimiento que puede generar un proceso exponencial. Pocos somos capaces de encontrar mecanismos que nos permitan reducir las oscilaciones en un sistema complejo.

En pocas palabras, este libro se enfrenta a una dualidad. Por una parte, poseemos una enorme cantidad de conocimientos relacionados

con el funcionamiento del mundo, pero, por otra, no son ni mucho menos suficientes. Nuestro saber es increíble; nuestra ignorancia lo es aún más. Podemos mejorar nuestra comprensión del mundo, pero no podemos lograr que sea perfecta. Yo conozco las dos facetas de esta dualidad, porque he aprendido mucho del estudio de los sistemas.

Todo lo que creemos que sabemos del mundo es un modelo.
Nuestros modelos suelen ajustarse a la realidad con bastante precisión. Nuestros modelos no son capaces ni por asomo de ofrecer una representación exhaustiva del mundo.

En este capítulo mostraremos algunas de las razones por las que los sistemas dinámicos nos sorprenden a menudo. Además, se puede considerar que es una antología de algunas de las maneras en que nuestros modelos mentales pasan por alto las complicaciones del mundo real: al menos, las que se pueden observar desde la perspectiva de la teoría de sistemas. Es una lista de advertencias. Aquí es donde se encuentran los problemas ocultos. No podemos movernos tranquilamente en un mundo de interconexiones, dominado por procesos de retroalimentación, a menos que apartemos la mirada de los sucesos a corto plazo y nos fijemos en los comportamientos y las estructuras a largo plazo; a menos que tengamos en cuenta las fronteras falsas y las limitaciones de la racionalidad; a menos que consideremos los factores limitadores, los procesos no lineales y los retrasos. Si no respetamos la resiliencia, la capacidad de organización autónoma y la jerarquía de los sistemas, lo más probable es que los tratemos, los diseñemos o los interpretemos erróneamente.

La mala noticia —o la buena: todo depende de la necesidad que tengamos de controlar el mundo y de nuestra disposición a deleitarnos con las sorpresas que nos depara— es que, aunque consigamos comprender todas estas características de los sistemas, puede que nos sorprendamos menos, pero nunca dejaremos de sorprendernos del todo.

La fascinación de los sucesos

«Un sistema es una caja negra y grande
con un cerrojo que jamás podremos abrir,
y lo único que sabemos
es que en ella se meten y se sacan cosas.
Si observamos las cosas que se meten y se sacan,
y podemos establecer leyes paramétricas,
a veces podemos relacionar
lo que se mete, lo que se saca y el estado.
Si la relación es buena y duradera
podremos hacer predicciones,
pero si esto falla, ¡que Dios nos asista!
¡Tendremos que forzar la tapadera!».
KENNETH BOULDING,
economista[20]

Los sistemas se muestran como una serie de acontecimientos para intentar engañarnos —o quizá sea nuestra manera de ver el mundo la que nos engaña—. Los telediarios nos hablan de elecciones, de guerras, de acuerdos políticos, de catástrofes naturales, de repuntes o descalabros bursátiles. Nuestras conversaciones cotidianas giran en gran medida en torno a acontecimientos específicos que tienen lugar en momentos y lugares específicos. Un equipo gana. Un río se desborda. El índice Dow Jones llega a los 10 000 puntos. Se descubre un yacimiento petrolífero. Se tala un bosque. Los sucesos son lo que se saca de la caja negra del sistema a cada momento.

Los sucesos pueden ser espectaculares: accidentes de tráfico, asesinatos, grandes victorias, terribles tragedias. Nos enganchan. Despiertan nuestras emociones. Aunque los hemos visto miles de veces en la tele o en las primeras páginas de los periódicos, cada uno se diferencia lo suficiente del anterior para que nos sintamos fascinados por ellos (lo mismo sucede con los giros imprevistos del clima). Ver el mundo como una sucesión de acontecimientos es increíblemente apasionante, y nunca deja de sorprendernos, porque esa visión del mundo no posee prácticamente ningún valor predictivo ni explicativo. Al igual que la punta de un iceberg que sobresale del agua, los sucesos son el aspecto más visible de un complejo mayor, pero no siempre son lo más importante.

Es menos probable que nos sorprendamos si observamos cómo los sucesos se acumulan para formar pautas dinámicas de *comportamiento*. El equipo atraviesa una racha de victorias. La desviación del río es cada vez mayor, las inundaciones aumentan cuando llueve y el cauce es cada vez más bajo en las épocas de sequía. El índice Dow Jones sigue desde hace dos años una tendencia alcista. Cada vez se descubren menos pozos de petróleo. La tala forestal sigue un ritmo cada vez mayor.

El comportamiento de un sistema es su actuación en un periodo de tiempo determinado: crecimiento, estancamiento, declive, oscilación, aleatoriedad o evolución. Si la prensa hiciera mejor su trabajo y situara los sucesos en su contexto histórico, lograríamos una mejor comprensión de la dimensión de los comportamientos, que es una dimensión más profunda que la de los sucesos. Cuando un teórico de sistemas se topa con un problema, lo primero que hace es buscar datos, gráficos temporales, estudiar la historia del sistema. Porque el comportamiento a largo plazo nos proporciona pistas que permiten comprender la estructura subyacente del sistema. Y la estructura no solo es la clave para entender *qué* está sucediendo, sino también *por qué*.

La estructura de un sistema está formada por una serie de reservas, flujos y bucles de retroalimentación entrelazados. Los diagramas con

cajas y flechas (mis alumnos los llaman «diagramas de espaguetis con albóndigas») son representaciones de la estructura del sistema. La estructura determina qué comportamientos se encuentran latentes en el sistema. Un bucle de retroalimentación compensador que persigue un objetivo se aproxima al equilibrio dinámico o lo mantiene. Un bucle de retroalimentación reforzador genera un crecimiento exponencial. Si ambos se conectan, pueden favorecer el crecimiento, el declive o el equilibrio. Si además incluyen retrasos, pueden producir oscilaciones. Si funcionan mediante arranques periódicos y rápidos, pueden dar lugar a comportamientos aún más sorprendentes.

La estructura del sistema es el origen del comportamiento del sistema. El comportamiento del sistema se revela como una serie de sucesos en un periodo de tiempo determinado.

La teoría de sistemas pasa constantemente de la estructura (diagramas de reservas, flujos y retroalimentación) al comportamiento (gráficos temporales). Los teóricos de sistemas se esfuerzan por entender las relaciones entre la mano que suelta el Slinky (el suceso), las oscilaciones resultantes (el comportamiento) y las características mecánicas del muelle helicoidal del Slinky (la estructura).

Los ejemplos sencillos, como el del Slinky, permiten observar esta distinción entre sucesos-comportamiento-estructura. De hecho, muchos de los análisis que se llevan a cabo en el mundo no profundizan más allá de los sucesos. Pensemos en las explicaciones relacionadas con el comportamiento del mercado de valores que se ofrecen todas las noches en el telediario. La bolsa subió (o bajó) porque el dólar bajó (o subió) o los tipos de interés básicos subieron (o bajaron), o porque los demócratas ganaron (o perdieron), o porque un país invadió a otro (o decidió no hacerlo). Se trata de análisis basados exclusivamente en los sucesos.

Estas explicaciones no nos permiten predecir lo que sucederá en el futuro. No nos permiten cambiar el comportamiento del sistema: conseguir reducir la inestabilidad del mercado de valores o transformarlo en un indicador más fiel de la salud de las empresas o en un vehículo más eficaz para favorecer las inversiones, por ejemplo.

La mayoría de los análisis económicos profundizan un poco más y estudian el comportamiento en un periodo de tiempo determinado. Los modelos econométricos se esfuerzan por establecer relaciones estadísticas entre tendencias pasadas de ingresos, ahorros, inversiones, gasto público, tipos de interés, rendimiento o lo que sea, y a menudo utilizan complicadas ecuaciones.

Estos modelos basados en el comportamiento son más útiles que los que se basan en los sucesos, pero aun así plantean algunos problemas básicos. En primer lugar, suelen hacer un hincapié excesivo en los flujos de los sistemas y prestan menos atención de la que se merecen a

las reservas. Los economistas prestan atención al comportamiento de los flujos, porque ahí es donde se manifiestan las variaciones interesantes y los cambios más rápidos de los sistemas. Las noticias de la prensa económica especializada se centran en la producción nacional (el flujo) de bienes y servicios, en el PNB, no en el capital físico total (reserva) de las fábricas, las granjas y las empresas de la nación que producen estos bienes y estos servicios. Pero si no observamos cómo las reservas afectan a los flujos que se relacionan con ellas a través de procesos de retroalimentación, no podemos comprender la dinámica de los sistemas económicos ni las razones de su comportamiento.

En segundo lugar, y esto es más grave, cuando intentan encontrar conexiones estadísticas que les permitan relacionar unos flujos con otros, los econometristas buscan algo que no existe. No hay ninguna razón para suponer que un flujo determinado va a mantener una relación estable con otro. Los flujos aumentan y disminuyen, se activan y se desactivan, formando todo tipo de combinaciones, en respuesta a las reservas, no a otros flujos.

Permitidme que utilice un ejemplo sencillo para ilustrar esta idea. Supongamos que no sabemos absolutamente nada de termostatos, pero disponemos de una gran cantidad de datos sobre los flujos de entrada y de salida de calor de una habitación. Podríamos hallar una ecuación que explique cómo han variado simultáneamente esos flujos en el pasado, porque en circunstancias normales, al estar regidos por la misma reserva (la temperatura de la habitación), cambian simultáneamente.

Esta ecuación solo sería válida, sin embargo, hasta que se produzca algún cambio en la estructura del sistema: hasta que una persona abra una ventana o decida aislar mejor la habitación, o regular la caldera, o se olvide de hacer un pedido de combustible. Con esta ecuación, podríamos predecir la temperatura que hará mañana en la habitación, siempre y cuando el sistema no cambie ni se averíe. Pero si tuviéramos que calentar más la habitación o si la temperatura cayera en picado de pronto y tuviéramos que solucionar ese problema, o si quisiéramos generar la misma temperatura ahorrando combustible, este análisis del comportamiento no nos serviría de nada. Tendríamos que hurgar en la estructura del sistema.

Por ese motivo los modelos econométricos basados en el comportamiento son tan buenos para predecir el rendimiento a corto plazo de un sistema económico, pero fallan cuando se trata de establecer predicciones a largo plazo, y son terribles cuando se trata de mejorar el rendimiento de ese sistema.

Y es una de las razones de que los sistemas de todo tipo nos sorprendan. Nos dejamos fascinar excesivamente por los sucesos que

generan. Prestamos muy poca atención a su historia. Y carecemos de la habilidad suficiente para detectar en su historia pistas que nos permitan averiguar qué estructuras generan el comportamiento y los sucesos.

Mentes lineales en un mundo no lineal

«Las relaciones lineales son fáciles de imaginar. Cuanto más, mejor. Las ecuaciones lineales se pueden resolver, por eso son perfectas para los libros de texto. Los sistemas lineales poseen una virtud modular importante: puedes desmontarlos y volver a armarlos: las piezas encajan.

Los sistemas no lineales, por lo general, no se pueden resolver y no se pueden montar. […] La no linealidad significa que el propio acto de jugar el juego altera las reglas en cierto modo. […] Por culpa de esa mutabilidad perversa, la no linealidad es difícil de calcular, pero también genera tipos de comportamiento muy complejos que nunca tienen lugar en los sistemas lineales».

JAMES GLEICK, autor de *Chaos: Making a New Science*[21]

Por lo general, nos cuesta bastante trabajo comprender la naturaleza de las relaciones. Una **relación lineal** entre dos elementos de un sistema puede representarse en un gráfico con una línea recta. Es una relación con proporciones constantes. Si abono un campo con cinco kilos de fertilizante, el rendimiento se incrementará en dos fanegas. Si echo diez kilos, en cuatro. Si añado quince kilos, en seis.

Una **relación no lineal** es aquella en la que la causa no provoca un efecto proporcional. La relación entre la causa y el efecto no se puede representar mediante una línea recta, sino únicamente con curvas u oscilaciones. Si abono el campo con cincuenta kilos de fertilizante, obtendré una cosecha de diez fanegas; si añado cien kilos no pasará nada; si añado ciento cincuenta kilos, el rendimiento descenderá. ¿Por qué? He estropeado el terreno al añadir «demasiado de algo bueno».

El mundo está plagado de relaciones no lineales.

Por eso la realidad sorprende tan a menudo a nuestras mentes lineales. Como sabemos que un pequeño empujón provoca una respuesta moderada, pensamos que si duplicamos la intensidad del empujón obtendremos una respuesta dos veces mayor. Pero en un sistema no lineal, el doble puede producir una respuesta seis veces menor o una respuesta elevada al cuadrado o una respuesta nula.

Veamos algunos ejemplos de procesos no lineales:

- ⟶ Cuando el flujo del tráfico en una autopista aumenta, la velocidad de los coches solo se ve afectada ligeramente cuando se incrementa la densidad de coches. Con el tiempo, sin embargo, un pequeño incremento de la densidad provoca una rápida reducción de la velocidad. Y cuando el volumen de coches que circula por la autopista llega a cierto punto, puede provocar un atasco, y la velocidad de los coches desciende hasta cero.
- ⟶ Un suelo puede erosionarse durante mucho tiempo sin afectar demasiado al rendimiento de las cosechas, hasta que la capa superior del suelo se desgasta tanto que llega hasta las raíces.

Desde ese momento, un ligero incremento de la erosión puede hacer que el rendimiento se desplome.

→ Un anuncio discreto y elegante puede despertar el interés por un producto. Un montón de anuncios machacones puede llegar a generar rechazo por el mismo producto.

No es difícil comprender por qué los procesos no lineales producen sorpresas. Contradicen una expectativa razonable: si una dosis pequeña de un medicamento determinado me sienta bien, entonces una dosis enorme me sentará fenomenal. O, a la inversa, si una pequeña acción destructiva provoca un daño tolerable, entonces el incremento de ese mismo tipo de destrucción solo provocará un poco más de daño. En el mundo no lineal, este tipo de expectativas razonables suelen dar lugar a errores típicos.

La importancia de los procesos no lineales no radica únicamente en su capacidad para frustrar nuestras expectativas asociadas a la relación entre acción y reacción. Además, *alteran la intensidad relativa de los bucles de retroalimentación*, y esto es mucho más importante. Pueden alterar el comportamiento de un sistema.

Los procesos no lineales son la causa principal del dominio cambiante que caracteriza a algunos de los sistemas de nuestro zoo: el paso repentino de un crecimiento exponencial provocado por el dominio de un bucle reforzador, por ejemplo, a un descenso provocado por un bucle compensador que de pronto se vuelve dominante.

Un ejemplo espectacular de los efectos de los procesos no lineales es el de la destructiva irrupción del gusano de la yema de la pícea en los bosques de Norteamérica.

Interludio. Gusanos, abetos y pesticidas

Los registros en anillos de crecimiento muestran que el gusano de la yema de la pícea lleva como mínimo cuatro siglos años matando periódicamente a las píceas y los abetos de Norteamérica. Hasta el siglo XX, a nadie le importaba demasiado. Los árboles más apreciados por la industria maderera eran los pinos blancos americanos. Los abetos y las píceas se consideraban «especies invasoras». Con el tiempo, sin embargo, los rodales de pinos vírgenes desaparecieron y la industria maderera empezó a utilizar las píceas y los abetos. De pronto, el gusano de la yema se convirtió en una peligrosa plaga.

Así que a principios de los años cincuenta los bosques septentrionales se fumigaron con DDT para controlar la plaga de este gusano. A pesar de la fumigación, todos los años volvían a aparecer. Las fumigaciones anuales se siguieron practicando durante los años cincuenta, sesenta y setenta, cuando se prohibió el DDT y se empezó a utilizar el fenitrotión, el acefato, el Sevin y el metoxicloro.

Se reveló que los insecticidas no eran la respuesta definitiva al problema del gusano de la yema, pero se seguía considerando que eran fundamentales. «Los insecticidas nos ayudan a ganar tiempo», decía un guardabosques. «Un gestor forestal no puede pedir más; nos permiten conservar los árboles hasta que el aserradero los necesite».

En 1980 los costes de fumigación se habían vuelto insostenibles: ese año, en la provincia canadiense de New Brunswick se gastaron 12,5 millones de dólares en «controlar» la plaga del gusano de la yema. Los ciudadanos, preocupados, se oponían a que siguieran inundando el medio ambiente de sustancias tóxicas. Y, a pesar de la fumigación, el gusano arrasaba veinte millones de hectáreas de árboles al año.

C. S. Holling, de la Universidad de la Columbia Británica, y Gordon Baskerville, de la Universidad de New Brunswick, concibieron un modelo informático para poder desarrollar una visión de conjunto del problema del gusano de la yema. Descubrieron que, antes de empezar con las fumigaciones, el gusano apenas se podía detectar la mayoría de los años. Una serie de depredadores, como los pájaros, una araña, una avispa parásita y varias enfermedades controlaban el crecimiento de esta especie. Cada veinte o treinta años, sin embargo, se producía un brote que duraba entre seis y diez años. Después, la población disminuía, y con el tiempo volvía a dispararse.

El gusano de la yema ataca preferentemente al abeto balsámico (el abeto de Navidad), y después a la pícea. El abeto balsámico es el árbol más competitivo del bosque septentrional. Si no se controla, es capaz de desplazar a la pícea y al abedul, y el bosque puede llegar a convertirse en un monocultivo de abetos. Los brotes de gusano de la yema ayudan a reducir la población de abetos y permiten que la pícea y el abedul se desarrollen. Con el tiempo, el abeto vuelve a avanzar.

Cuando crece la población de abeto, la probabilidad de que se produzca un brote de gusano de la yema se incrementa: se trata de un proceso *no lineal*. El incremento del potencial reproductor del gusano en relación con la disponibilidad de su alimento favorito es superior al incremento proporcional. Lo que desencadena en última instancia el brote de gusanos es la sucesión de dos o tres primaveras secas, perfectas para la supervivencia de las larvas del gusano (si nos limitáramos a analizar los sucesos, llegaríamos a la conclusión de que los brotes se producen debido a las primaveras cálidas y secas).

La población de gusanos crece tanto que sus enemigos naturales son incapaces de controlarla: un proceso *no lineal*. Bajo una amplia variedad de condiciones, el incremento de la población de gusanos daría lugar a una multiplicación más rápida de sus depredadores. Pero llegados a cierto punto, los depredadores no se pueden reproducir más rápido. De una relación de refuerzo —a mayor población de gusanos, mayor multiplicación de depredadores—, pasamos a la ruptura de la

relación —aunque crece la población de gusanos, la multiplicación de los depredadores no se acelera—, y los gusanos pueden prosperar sin impedimento alguno.

Ahora solo hay una manera de impedir el brote: que el insecto reduzca su propio suministro de alimento acabando con los abetos. Cuando eso sucede por fin, la población de gusanos se desploma: un proceso *no lineal*. El bucle reforzador de la reproducción de gusanos cede el dominio al bucle compensador de la inanición del gusano. Las píceas y los abedules ocupan el espacio de los abetos, y el ciclo comienza de nuevo.

El sistema de gusanos/píceas/abetos experimenta algunas oscilaciones a lo largo de las décadas, pero es ecológicamente estable dentro de unos límites. Puede continuar indefinidamente. El efecto principal del gusano es favorecer la persistencia de otras especies distintas del abeto. Pero en este caso la estabilidad ecológica genera inestabilidad desde el punto de vista económico. En el este de Canadá, la economía se basa prácticamente por completo en la industria maderera, que depende a su vez del suministro constante de abetos y píceas.

En los sistemas podemos encontrar muchas relaciones no lineales.
La intensidad relativa de estas relaciones varía de manera desproporcionada cuando las reservas del sistema cambian. Los procesos no lineales en los sistemas de retroalimentación provocan cambios de dominio en los bucles y numerosos comportamientos complejos.

La fumigación altera completamente el sistema, que se ve forzado a provocar un equilibrio en diferentes puntos dentro de sus relaciones no lineales. No solo acaba con la plaga, sino con los enemigos naturales de la plaga, y de ese modo debilita el bucle de retroalimentación que suele mantener a raya a los gusanos. Favorece una elevada densidad de abetos, y los gusanos avanzan en su curva de reproducción no lineal hasta llegar a un punto en el que se encuentran perpetuamente al límite de la explosión de población.

Las prácticas de gestión de los bosques han creado lo que Holling define como «una situación constante de brote parcial» en zonas cada vez más extensas. Los gestores se encuentran atrapados en una política que es un volcán a punto de entrar en erupción, de tal manera que, si esa política fracasa, «habrá un brote de una intensidad nunca vista hasta ahora».[22]

Fronteras inexistentes

«Desde la perspectiva de los sistemas, el popular término "efectos secundarios" lleva implícita una idea errónea […] Esta expresión significa, a grandes rasgos, "efectos que no habíamos previsto o en los que no queremos pensar […]". Los efectos secundarios son igual de "secundarios" que los efectos "principales". Analizar el mundo desde la perspectiva de los sistemas es muy difícil, y nos afanamos por deformar nuestro lenguaje para no tener que hacerlo».

¿Recordáis las nubes de los diagramas estructurales de los dos primeros capítulos? ¡Cuidado con las nubes! Son la fuente primordial de las sorpresas que nos deparan los sistemas.

Las nubes representan el origen y el destino de los flujos. Son reservas —fuentes y sumideros— que hemos decidido ignorar por el momento con el fin de simplificar nuestro análisis. Marcan la frontera del diagrama de un sistema. Rara vez señalan una frontera real, porque los sistemas casi nunca poseen fronteras. Todo está conectado, como se suele decir, y es difícil establecer un límite. No se puede determinar con claridad la frontera entre el mar y la tierra, entre la sociología y la antropología, entre el tubo de escape de un coche y nuestra nariz. Las fronteras solo existen en el lenguaje, en la razón, en la percepción y en las convenciones sociales: fronteras artificiales, mentales.

La frontera es el espacio donde surgen más complicaciones. Algunos checos viven en el lado alemán de la frontera y algunos alemanes en el lado checo. Las especies de árboles se extienden más allá del límite del bosque e invaden los prados; las especies de los prados a veces crecen en el bosque. Las fronteras desordenadas, descontroladas, generan diversidad y creatividad.

En nuestro zoo de sistemas, por ejemplo, hemos visto que el flujo de coches que pasa a formar parte de las existencias de un concesionario de coches salía de una nube. Por supuesto, los coches no salen de las nubes, son el resultado de la transformación de una reserva de materias primas que se lleva a cabo gracias a un capital, una mano de obra, una energía, una tecnología y una administración (los medios de producción). Del mismo modo, el flujo de coches que sale de las existencias no va a parar a una nube, sino a los hogares y las empresas de los consumidores, gracias a las ventas.

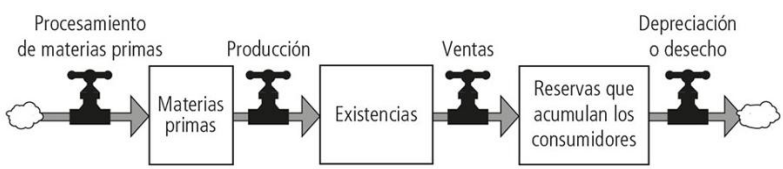


Figura 47. Algunas de las reservas ocultas detrás de las nubes.

La importancia de las materias primas o de las reservas que almacenan los consumidores en sus hogares (la decisión de si es legítimo introducirlas en lugar de las nubes de los diagramas) depende de la probabilidad de que estas reservas ejerzan una influencia significativa en el comportamiento del sistema en un periodo de tiempo determinado. Si la abundancia de las materias primas está

garantizada y los consumidores siguen demandando los productos, entonces nos podemos apañar con las nubes. Pero si existe la posibilidad de que se agoten las materias primas o se genere un excedente de producto, y trazamos una frontera mental alrededor del sistema que no incluye esas reservas, entonces los sucesos futuros pueden depararnos algunas sorpresas.

En la Figura 47 sigue habiendo nubes. Las fronteras se pueden ampliar más. Las materias primas procesadas proceden de plantas químicas, fundiciones o refinerías que se abastecen en última instancia de materias primas que extraen de la tierra. El procesamiento no solo genera productos, sino también empleos, salarios, beneficios y contaminación. Las reservas que los consumidores desechan van a parar a vertederos o incineradoras o plantas de reciclaje, y desde ahí ejercen un nuevo impacto en la sociedad y en el medio ambiente. Los basureros lixivian en pozos de agua potable, las incineradoras generan humo y ceniza, las plantas de reciclaje vuelven a introducir las materias primas en el proceso de producción.

La importancia de considerar el flujo total, desde la mina al basurero, o, como se dice en el ámbito de la industria, «desde la cuna a la tumba», depende de quién estudia el sistema, por qué lo estudia y durante cuánto tiempo pretende estudiarlo. En un estudio a largo plazo, el flujo total es importante, y a medida que la economía física se desarrolla y la «huella ecológica» de la sociedad se expande, los estudios a largo plazo se están convirtiendo en estudios a corto plazo. La gente que pensaba que la basura «desaparece», como si fuera a parar a una nube, se sorprende de que los vertederos se llenen. Las fuentes de materias primas —las minas, los pozos y los campos petrolíferos— también se pueden agotar de una manera asombrosamente repentina.

Si aplicamos un horizonte temporal suficientemente amplio, la historia no se acaba en las minas y los vertederos. Los grandes ciclos geológicos de la Tierra siguen trasladando materias primas, abriendo y cerrando mares, levantando y erosionando montañas. Dentro de eones, todo lo que se tira a un vertedero acabará en la cumbre de una montaña o en lo más profundo del mar. Se formarán nuevos depósitos de metal y de combustible. En el planeta Tierra no existen las «nubes» de los sistemas ni fronteras definitivas. Incluso las nubes reales del cielo forman parte de un ciclo hidrológico. Todas las cosas físicas proceden de algún lugar y se dirigen hacia algún lugar. Todo se mueve.

Pero eso no significa que todo modelo, ya sea mental o informático, tenga que seguir todas las conexiones hasta abarcar la totalidad del planeta. Las nubes son una parte necesaria de los modelos que describen flujos metafísicos. La ira, literalmente, «sale de una nube», y

lo mismo sucede con el amor, el odio, la autoestima, etcétera. Si queremos entender algo, tenemos que simplificar, y para ello tendremos que fijar fronteras. Suele ser lo más sensato. Por lo general, por ejemplo, no resulta problemático pensar que los nacimientos y las defunciones de una población proceden y van a parar a una nube, como podemos observar en la Figura 48.

Figura 48. Más nubes.

La Figura 48 muestra, literalmente, las fronteras «desde la cuna a la tumba». Sin embargo, ni siquiera estas fronteras nos servirían si la población en cuestión experimentara un flujo de inmigración o de emigración significativos, o si nos centráramos exclusivamente en el espacio de un cementerio.

El concepto de frontera es difícil de entender incluso para los teóricos de sistemas. No existe una única frontera legítima en la que se pueda inscribir un sistema. Nos vemos obligados a inventar fronteras en aras de la claridad y de la cordura; y las fronteras pueden crear problemas cuando nos olvidamos de que las hemos creado artificialmente.

Cuando establecemos fronteras demasiado estrechas, el sistema puede sorprendernos. Por ejemplo, si tratamos de solucionar el problema del tráfico de una ciudad sin tener en cuenta los modelos de asentamiento, podemos decidir construir una autopista que favorecerá la construcción de viviendas en sus alrededores y que acabará tan congestionada como las demás.

No existen sistemas independientes. El mundo forma un continuum. El lugar donde trazamos una frontera para separar un sistema de otro depende del propósito de nuestro estudio: de las preguntas que queramos plantear.

Si intentamos resolver un problema de aguas residuales vertiendo las aguas contaminadas en un río, es evidente que habrá que tener en cuenta la totalidad del río, pues nuestra decisión puede afectar a las ciudades que se encuentran río abajo. Puede que también tengamos que pensar en el suelo y en las aguas subterráneas que rodean al río. Probablemente, la próxima vertiente y el ciclo hidrológico planetario pueden quedar excluidos de las fronteras de este sistema.

Hace tiempo, el límite de la planificación de un parque nacional solía coincidir con las fronteras naturales del parque en cuestión. Pero en todos los lugares del mundo estas fronteras las atraviesan los pueblos nómadas, la fauna migratoria, las aguas superficiales o

subterráneas, los efectos del desarrollo económico en los límites del parque, la lluvia ácida y el cambio climático provocado por los gases de efecto invernadero de la atmósfera. Aunque no existiera el cambio climático, para gestionar un parque nacional hay que tener en cuenta una frontera más amplia que la del perímetro oficial.

Los analistas de sistemas suelen caer en la trampa contraria, y trazan fronteras demasiado amplias. Tienen la costumbre de dibujar diagramas que ocupan varias páginas con letra pequeña y muchas flechas que relacionan unas cosas con otras. «¡*Ese* es el sistema!», exclaman. Para ellos, un sistema que no considere todos esos aspectos carece de legitimidad académica.

Este juego de «mi modelo es más grande que el tuyo» da lugar a análisis enormemente complicados que generan una ingente cantidad de información y que, probablemente, solo sirven para ocultar las respuestas a las preguntas que se plantean. Por ejemplo, crear un modelo que represente el clima de la Tierra en todo detalle es interesante por numerosas razones, pero puede que no sea necesario para intentar averiguar cómo puede un país reducir las emisiones de CO_2 para frenar el cambio climático.

La frontera adecuada para estudiar un problema rara vez coincide con la frontera de una disciplina académica ni con una frontera política. Los ríos son muy útiles como frontera para separar un país de otro, pero son una frontera nefasta cuando se trata de gestionar la cantidad y la calidad del agua. El aire se comporta todavía peor que el agua, pues se empeña aún con mayor insistencia en cruzar las fronteras políticas. Las fronteras de las naciones no significan nada cuando se trata de la destrucción de la capa de ozono de la estratosfera o de la acumulación de gases de efecto invernadero de la atmósfera o de los vertidos en los océanos.

Lo ideal sería que tuviéramos la flexibilidad mental suficiente para encontrar la frontera adecuada para pensar en cada problema nuevo. Pero la flexibilidad no suele ser una de nuestras virtudes. Nos encariñamos con las fronteras a las que se acostumbra nuestra razón. Pensemos en todas las discusiones que surgen por culpa de las fronteras: de las fronteras nacionales, comerciales, étnicas… De las fronteras entre la responsabilidad pública y la privada, y las fronteras entre los ricos y los pobres, entre la contaminación y los contaminados, entre la gente actual y las generaciones venideras. Las universidades pueden pelearse durante años por las fronteras entre la economía y el gobierno, el arte y la historia del arte, la literatura y la crítica literaria. Con demasiada frecuencia las universidades son monumentos vivos a la rigidez de las fronteras.

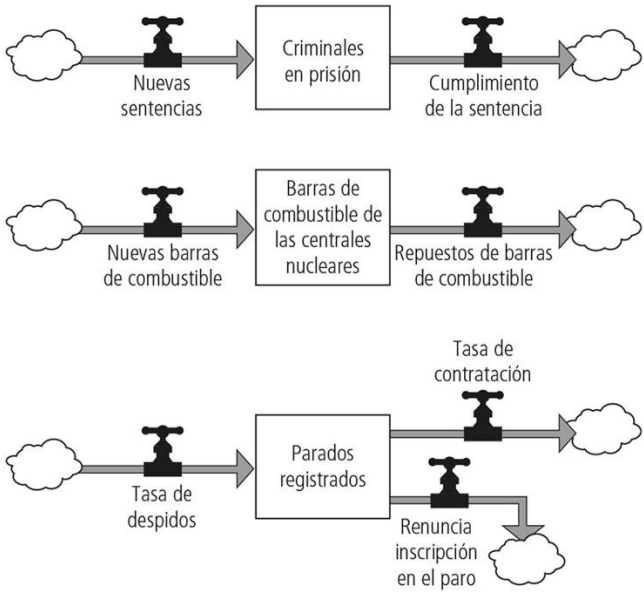


Figura 49. Más ejemplos de nubes. He aquí algunos sistemas en los que una frontera o una nube no debería impedirnos pensar más allá de las fronteras del sistema, sino incitarnos a atravesarlas. ¿Qué es lo que determina la cantidad de personas acusadas de algún crimen? ¿Adónde van las barras de combustible nuclear una vez que se sustituyen? ¿Qué sucede con una persona desempleada que deja de estar apuntada en el paro?

Recordar que *las fronteras son invenciones nuestras y que podemos y debemos reexaminarlas cada vez que abordamos un nuevo análisis, un nuevo problema o un nuevo propósito*, es todo un arte. Representa un desafío exprimir nuestra creatividad para renunciar a las fronteras que funcionaron para el problema anterior y encontrar las más apropiadas para el siguiente. Además, es una necesidad, si queremos resolver los problemas de manera eficaz.

Estratos de los límites

Los sistemas nos sorprenden porque a nuestra razón le gusta pensar que una causa individual producirá un efecto individual. Nos gusta pensar en una cosa o como mucho en dos a la vez. Y no nos gusta pensar en los límites, sobre todo cuando afectan a nuestros propios planes y deseos.

Pero vivimos en un mundo en el que numerosas causas se suelen unir para provocar numerosos efectos. Un sinfín de aportaciones provoca un sinfín de resultados, y prácticamente todas las aportaciones y, por tanto, los resultados son limitados. Por ejemplo, un proceso de manufacturación industrial requiere:

- → Capital
- → Mano de obra

⟶ Energía
⟶ Materias primas
⟶ Terreno
⟶ Agua
⟶ Tecnología
⟶ Crédito
⟶ Seguros
⟶ Clientes
⟶ Una buena gestión
⟶ Infraestructuras y servicios financiados por el Estado (policía, bomberos, la educación que reciben los directivos y los trabajadores)
⟶ Familias operativas que críen y cuiden tanto de los productores como de los consumidores
⟶ Un ecosistema saludable que suministre y sirva de apoyo a todas estas aportaciones y que absorba y traslade los residuos que se generan.

Un campo de cultivo de cereales necesita:

⟶ Aire
⟶ Agua
⟶ Nitrógeno
⟶ Fósforo
⟶ Potasio
⟶ Infinidad de nutrientes secundarios
⟶ Un suelo friable y la aportación de una comunidad microbiana
⟶ Un sistema de control de malas hierbas y de plagas
⟶ Protección contra los residuos que generan las fábricas industriales.

Justus von Liebig desarrolló su famosa «ley de mínimo» precisamente para aplicarla a la agricultura. No importa la cantidad de nitrógeno de la que pueda disponer el cereal, afirmaba, si lo que falta es fósforo. No sirve de nada añadir más fósforo si el problema es la falta de potasio.

El pan no sube sin levadura, por mucha harina que añadamos. Los niños no crecen si no comen proteínas, por muchos carbohidratos que ingieran. Las empresas no pueden funcionar sin energía, por muchos clientes que tengan; y, si no cuentan con clientes, no importa la energía de la que puedan disponer.

Esta noción de **factor limitador** es muy sencilla, pero suele dar lugar a numerosos malentendidos. Los ingenieros agrónomos, por ejemplo, piensan que saben qué compuestos deben añadir a un fertilizante artificial, porque son capaces de identificar muchos de los nutrientes primarios y secundarios de los suelos fértiles. Pero ¿hay algún nutriente esencial que no hayan sido capaces de identificar? ¿Cómo

afectan los fertilizantes artificiales a las comunidades microbianas de los suelos? ¿Interfieren y, por tanto, limitan otras funciones de los suelos fértiles? Y ¿qué es lo que limita la producción de fertilizantes artificiales?

Los países ricos transfieren capital o tecnología a los países pobres y se preguntan por qué las economías de los países receptores siguen sin desarrollarse, y no se les ocurre pensar que existe la posibilidad de que ese capital o esa tecnología no sean los factores más limitadores.

En un momento determinado, la aportación más importante para un sistema es la que más lo limita.

La economía evolucionó en un momento de la historia en que la mano de obra y el capital eran los factores limitadores más comunes de la producción. De ahí que la mayoría de las funciones de la producción económica solo presten atención a esos dos factores (y a veces a la tecnología). Sin embargo, dado que la economía crece en relación con el ecosistema y los factores limitadores han cambiado y ahora son el agua sin contaminar, el aire puro, el espacio para almacenar residuos y las energías y las materias primas aceptables, cada vez resulta menos útil concentrarse en el interés tradicional y exclusivo por el capital y la mano de obra.

Uno de los modelos clásicos que se suele explicar a los alumnos de teoría de sistemas en el MIT es el modelo de crecimiento empresarial de Jay Forrester. El punto de partida es una próspera compañía joven que crece rápidamente. El problema para esta empresa radica en la capacidad para reconocer y gestionar sus límites cambiantes: límites que cambian en respuesta al crecimiento de la propia compañía.

Puede darse el caso, por ejemplo, de que la compañía contrate a vendedores tan buenos que se generen más pedidos de los que la fábrica puede producir. Los retrasos en la entrega se incrementan y se pierden clientes, porque la capacidad de producción es el principal factor limitador. Entonces los directivos deciden ampliar la reserva de capital de las fábricas. Se contratan rápidamente más trabajadores, pero no se les forma adecuadamente. La calidad se ve afectada y se pierden clientes porque la cualificación se ha convertido en el principal factor limitador. De manera que los directivos deciden invertir en formación. La calidad mejora, llegan nuevos pedidos, y el sistema de procesamiento de pedidos y de mantenimiento de registros se bloquea. Y así sucesivamente.

Existen estratos de límites alrededor de cada planta que crece, de cada niño, de cada epidemia, de cada producto nuevo, de cada avance tecnológico, de cada compañía, de cada ciudad, de cada economía y de cada población. Lo importante no es solo reconocer cuál es el factor limitador en cada momento, sino entender que *el propio crecimiento reduce o mejora los límites* y, por tanto, cambia lo que está limitando.

La interacción entre una planta que crece y el suelo, entre una compañía en desarrollo y el mercado, entre una economía en desarrollo y su base de recursos, es dinámica. Cada vez que un factor deja de limitar, se produce el crecimiento, y el propio crecimiento altera la escasez relativa de factores hasta que otro factor se convierte en limitador. Si dejamos de prestar atención a los numerosos factores para centrarnos en el siguiente factor limitador potencial obtendremos una comprensión verdadera del proceso de crecimiento y aprenderemos a controlarlo.

Cualquier entidad física con múltiples aportaciones y resultados —una población, un proceso de producción, una economía— está rodeada por estratos de límites. A medida que el sistema se desarrolla, interactúa con sus límites e influye en ellos. Juntos, la entidad en crecimiento y su entorno limitado forman un sistema dinámico que evoluciona conjuntamente.

Con todo, comprender la existencia de los estratos de los límites y prestar atención al próximo factor limitador no es la receta del crecimiento perpetuo. Para cualquier entidad física en un entorno finito, el crecimiento perpetuo es imposible. En última instancia, la opción no es crecer eternamente, sino decidir dentro de qué límites vivir. Si una compañía fabrica un producto o un servicio perfectos a un precio asequible, se verá desbordada por los pedidos y crecerá hasta un punto en que un límite le obligará a rebajar la calidad del producto o a subir el precio. Si una ciudad satisface las necesidades de sus habitantes mejor que cualquier otra, la gente se dirigirá hacia allí en manada hasta que un límite acabe con la capacidad de la ciudad para satisfacer las necesidades de sus ciudadanos.[24]

Cualquier entidad física con múltiples aportaciones y resultados está rodeada por estratos de límites.

El crecimiento siempre tendrá límites. Pueden tratarse de límites autoimpuestos. En caso contrario, los impondrá el sistema. Ninguna entidad física puede crecer eternamente. Si los directores de las compañías, los gobiernos municipales, la población humana no deciden imponer sus propios límites para mantener el crecimiento dentro de los límites de la capacidad del medio ambiente sostenible, entonces será el entorno el que decidirá y forzará los límites.

El crecimiento siempre tendrá límites.
Pueden ser autoimpuestos. En caso contrario, será el sistema el que los imponga.

La ubicuidad de los retrasos

«Descubrí con sobresalto que mi impaciencia por el restablecimiento de la democracia tenía cierto componente comunista; o, generalizando, cierto componente racionalista. Yo había querido que la historia avanzara de la misma manera que los niños tiran de las plantas para hacer que crezcan más rápido.

Creo que debemos aprender a esperar de la misma manera que aprendemos a crear.

Debemos sembrar las semillas con paciencia, regar asiduamente la tierra donde las hemos sembrado y dar su tiempo a las plantas. No podemos engañar a las plantas, y tampoco podemos engañar a la historia».

VÁCLAV HAVEL, dramaturgo,
último presidente de Checoslovaquia
y primer presidente de la República Checa[25]

Una planta, un bosque o una democracia tardan tiempo en crecer; las cartas que echamos al buzón tardan tiempo en llegar a su destinatario; los consumidores tardan tiempo en asimilar la información relacionada con la variación de los precios y en alterar su conducta de consumo, y una central nuclear tarda tiempo en construirse, una máquina en desgastarse o un nuevo avance tecnológico en introducirse en la economía.

Nunca deja de sorprendernos lo mucho que tardan las cosas. Cada vez que intentábamos dar forma a una interpretación o procesar un retraso, Jay Forrester nos aconsejaba que preguntáramos a todos los actores implicados en el sistema cuánto tiempo creían que iba a durar el retraso, que después realizáramos la predicción que nos pareciera más adecuada y que, por último, la multiplicáramos por tres (he descubierto que ese factor de corrección funciona a la perfección para calcular el tiempo que se puede tardar en escribir un libro).

Los retrasos son omnipresentes en los sistemas. Cada reserva es un retraso. La mayoría de los flujos tienen retrasos: retrasos de envío, retrasos de percepción, retrasos de procesamiento, de maduración. He aquí unos cuantos ejemplos que nos han parecido importantes para incluirlos en los diferentes modelos que hemos desarrollado:

- ⟶ El tiempo que transcurre entre el momento en que contraemos una enfermedad contagiosa y el momento en que enfermamos lo suficientemente para que nos la diagnostiquen: pueden pasar días o años, dependiendo de la enfermedad.
- ⟶ El tiempo que transcurre entre la emisión de la contaminación y la difusión o la percolación o la concentración de una sustancia contaminante en el ecosistema hasta el punto de llegar a dañarlo.
- ⟶ El tiempo de gestación y de maduración que se tarda en obtener una población reproductora de animales o plantas, que provoca las típicas oscilaciones de los precios de los artículos: ciclos de cuatro años en el caso de los cerdos, de siete en el de las vacas, de once en el de los árboles del cacao.[26]
- ⟶ El tiempo que se tarda en cambiar las normas sociales para alcanzar un tamaño de familia deseable: al menos una generación.
- ⟶ El tiempo que se tarda en rediseñar un proceso de producción y el que se tarda en mover una reserva de capital. Se tarda entre tres y ocho años en diseñar un coche nuevo y sacarlo al mercado. Puede que ese modelo tenga cinco años de vida en el mercado de

coches actual. Los coches tienen una vida media de entre diez y quince años.

De la misma manera que las fronteras apropiadas que hemos de trazar alrededor de la imagen que nos hemos formado de un sistema determinado dependen del propósito del análisis, lo mismo sucede con los retrasos importantes. Si nos preocupan las oscilaciones que duran semanas, probablemente no tengamos que preocuparnos por los retrasos de minutos o de años. Si queremos estudiar el desarrollo de una población y de una economía a lo largo de varias décadas, lo normal es ignorar las oscilaciones que se producen en un periodo de varias semanas. El mundo pía, grazna, estalla y truena en muchas frecuencias al mismo tiempo. Determinar si un retraso es o no es significativo depende —por lo general— del conjunto de frecuencias que uno intente comprender.

El zoo de los sistemas ya nos ha demostrado la importancia que poseen los retrasos de retroalimentación para el comportamiento de los sistemas. Alterar la duración de un retraso puede cambiar su comportamiento por completo. Por lo general, los retrasos son buenos puntos de influencia, factores clave en los que basar una estrategia, siempre que se pueda ampliar o acortar su duración. No es difícil entender por qué. Si, en un sistema, un punto de decisión (o una persona que actúa en esa parte del sistema) responde a una información que llega con retraso, o se retrasa en su respuesta, la decisión en cuestión no será efectiva. Las acciones serán insuficientes o excesivas en relación con los objetivos de la persona que ha tomado la decisión. No obstante, si se actúa con demasiada rapidez, la variación a corto plazo puede intensificarse nerviosamente y crear una inestabilidad innecesaria. Los retrasos determinan la rapidez de la reacción de los sistemas, la precisión con la que alcanzan sus metas y la puntualidad de la transmisión de la información a través del sistema. Los excesos, las oscilaciones y los colapsos siempre los provocan los retrasos.

Cuando hay retrasos prolongados en los bucles de retroalimentación, cierto grado de previsión es esencial.

Actuar únicamente cuando un problema se hace patente equivale a desperdiciar una oportunidad importante para solucionar el problema.

Los retrasos nos ayudan a entender por qué Mijaíl Gorbachov fue capaz de transformar el sistema de información de la Unión Soviética prácticamente de la noche a la mañana y que, sin embargo, se tardaran décadas en cambiar la economía física de la nación. Nos permiten comprender por qué la incorporación de la Alemania oriental a la occidental generó problemas durante un periodo de tiempo mucho más prolongado del que habían previsto los políticos. Debido a los retrasos en la construcción de nuevas centrales nucleares,

la industria de la electricidad se ve afectada por un sinfín de ciclos de sobrecapacidad seguidos de déficit de capacidad que provocan caídas de tensión. Como los océanos de la Tierra tardan décadas en reaccionar al aumento de la temperatura, las emisiones de combustible fósil que generamos los humanos ya han provocado cambios en el clima que no se revelarán del todo hasta dentro de una o dos generaciones.

Racionalidad limitada

> *«Ahora bien, como cualquier individuo pone todo su empeño en emplear su capital en sostener la industria doméstica y dirigirla a la consecución del producto que rinde más valor […], ninguno se propone, por lo general, promover el interés público ni sabe hasta qué punto lo promueve. […] Únicamente considera su seguridad; […] solo piensa en su propia ganancia […] guiado por una mano invisible a promover un fin que no entraba en sus intenciones. Mas no implica mal alguno para la sociedad que tal fin no entre a formar parte de sus propósitos, pues al perseguir su propio interés, promueve el de la sociedad de una manera más efectiva que si esto entrara en sus designios».*
>
> ADAM SMITH, economista político del siglo XVIII[27]

Sería muy bonito que la «mano invisible» del mercado guiara a los individuos para que tomaran una serie de decisiones que, en conjunto, favorecieran el bien de la sociedad. En ese caso, el egoísmo material sería una virtud social y, además, sería mucho más fácil elaborar modelos matemáticos para entender la economía. No habría ninguna necesidad de pensar en el bien de los demás ni en el funcionamiento de complejos sistemas de retroalimentación. ¡No es de extrañar que el modelo de Adam Smith haya tenido tanto éxito en los últimos doscientos años!

Por desgracia, en el mundo real encontramos numerosos ejemplos de personas que actúan racionalmente para obtener beneficios personales a corto plazo y provocan consecuencias globales que no le gustan a nadie. Los turistas invaden lugares paradisiacos como Waikiki o Zermatt y después se quejan de que han sido arrasados por el turismo. Los agricultores y los ganaderos producen excedentes de trigo, mantequilla o queso y los precios caen en picado. Los pescadores pescan indiscriminadamente y arruinan su propio medio de vida. Las corporaciones toman decisiones de inversión colectivas que provocan ciclos económicos negativos. Los pobres tienen más hijos de los que son capaces de alimentar.

¿Por qué?

Por lo que el economista del Banco Mundial Herman Daly define como «el pie invisible» o el ganador del premio Nobel de economía Herbert Simon denomina **racionalidad limitada.**[28]

La racionalidad limitada significa que las personas toman decisiones bastante racionales basándose en la información de la que disponen. Pero no disponen de toda la información, sobre todo en relación con lo que sucede en las partes más alejadas del sistema. Los pescadores

no conocen el volumen total de peces, y menos aún cuántos van a pescar otros pescadores ese mismo día.

Los empresarios no conocen con certeza las inversiones que han planeado otros empresarios, ni los productos que están dispuestos a adquirir los consumidores ni la competencia que van a encontrar sus productos. No conocen su cuota de mercado actual ni el tamaño real del mercado. La información que manejan sobre estas cuestiones es incompleta y la reciben con retraso, y su propia reacción tampoco es inmediata. Por eso, sistemáticamente, invierten de más o se quedan cortos.

Según Simon, los humanos no somos optimizadores omniscientes, racionales. Somos, más bien, «satisfactores» imperfectos: intentamos *satisfacer* nuestras necesidades *suficientemente* antes de tomar la siguiente decisión.[29] Hacemos todo lo posible para favorecer nuestros intereses personales inmediatos de una manera racional, pero solo podemos tener en cuenta la información que conocemos. No sabemos lo que piensan hacer los demás, hasta que lo hacen. Rara vez valoramos todas las posibilidades que se nos ofrecen. No solemos prever (o preferimos ignorar) el impacto que ejercerán nuestras acciones sobre el conjunto del sistema. Así que, en lugar de buscar un ideal a largo plazo, encontramos dentro de nuestro limitado ámbito de actuación una opción que nos permita salir del paso momentáneamente y nos aferramos a ella, y solo cambiamos nuestro comportamiento cuando no nos queda otro remedio.

Según los científicos de la conducta, ni siquiera somos capaces de interpretar correctamente la información imperfecta que manejamos. No percibimos los riesgos, y creemos que algunas cosas son mucho más peligrosas de lo que lo son en realidad y otras mucho menos. Vivimos en un presente exagerado: prestamos una atención excesiva a la experiencia reciente y apenas tenemos en cuenta el pasado. Nos concentramos en los sucesos actuales en detrimento del comportamiento a largo plazo. Ignoramos el futuro en una medida que carece por completo de sentido desde el punto de vista económico o ecológico. No valoramos los indicios en su justa medida. Nos negamos a admitir las noticias que no nos gustan o la información que no encaja con nuestros modelos mentales. Lo que significa que ni siquiera tomamos decisiones que optimicen nuestro beneficio personal, y menos aún el bien del conjunto del sistema.

Podéis imaginar la controversia que desató la aparición de la teoría de la racionalidad limitada, pues ponía en entredicho doscientos años de economía basada en las enseñanzas del economista político Adam Smith: de hecho, aún no sabemos cuándo llegará a su fin esta polémica. La teoría económica derivada de las ideas de Adam Smith defiende, en primer lugar, que el *Homo economicus* actúa de una

manera óptima basándose en una información completa y, en segundo lugar, que la actuación conjunta de los miembros de la especie *Homo economicus* favorece el mejor resultado posible para todo el mundo.

La realidad contradice ambos supuestos. En el próximo capítulo, donde estudiaremos las trampas y las oportunidades que ofrecen los sistemas, veremos algunas de las estructuras más habituales en las que la racionalidad limitada puede tener consecuencias catastróficas. Encontraremos fenómenos tan familiares como la adicción, la resistencia a las políticas, las carreras armamentísticas, la deriva hacia el rendimiento bajo o la tragedia de los recursos comunes. De momento, me conformaré con apuntar una idea relacionada con una de las mayores sorpresas que nos puede deparar la comprensión errónea de la racionalidad limitada.

Supongamos que por alguna razón nos obligaran a abandonar la posición que acostumbramos a ocupar en la sociedad y nos metiéramos en la piel de una persona cuyo comportamiento nunca hemos comprendido. Después de haber criticado a nuestros dirigentes con todas nuestras fuerzas, de pronto pasamos a formar parte del gobierno. O después de haber trabajado toda la vida en una empresa como empleados y de criticar a los empresarios, pasamos a dirigirla (o viceversa). Después de haber criticado el impacto que ejercen las grandes empresas sobre el medio ambiente, por ejemplo, de pronto somos nosotros los que tenemos que tomar decisiones medioambientales en nombre de una gran empresa. ¡Si este tipo de cambios sucedieran más a menudo, en todas las direcciones, todos ampliaríamos nuestro horizonte!

Desde nuestra nueva posición, observamos los flujos de información, los incentivos y los desincentivos, los objetivos y las discrepancias, las presiones —la racionalidad limitada— inherentes a esa posición. Es posible que seamos capaces de recordar cómo se veían las cosas desde la otra perspectiva y que se nos ocurran un sinfín de innovaciones que transformen el sistema, pero no parece probable. Si nos convertimos en empresarios, lo más probable es que dejemos de ver a los trabajadores como compañeros necesarios para el proceso de producción y empecemos a considerar que la mano de obra es un coste que hay que minimizar. Si nos convertimos en financieros, lo más probable es que invirtamos exageradamente en tiempos de bonanza y menos en tiempos de crisis, al igual que el resto de los financieros. Si caemos en la pobreza, pensaremos que tener muchos hijos es totalmente racional a corto plazo, que es una fuente de esperanza, una oportunidad. Si nos convertimos en pescadores y tenemos que pagar la hipoteca del barco y que mantener a nuestra familia, y desconocemos el estado de la población global de peces, pescaremos todo lo que podamos.

Para que los alumnos entiendan esta idea, les proponemos juegos en los que se ven obligados a vivir situaciones en las que experimentan los mismos flujos de información parcial que perciben los distintos actores en los sistemas reales. Cuando les toca ser pescadores, pescan indiscriminadamente. Cuando les toca ser ministros de una nación en vías de desarrollo, conceden prioridad a las necesidades de las industrias en detrimento de las necesidades del pueblo. Cuando les toca ser ricos, se llenan los bolsillos; cuando les toca ser pobres, se vuelven apáticos o rebeldes. Lo mismo haríais vosotros. En el famoso experimento que llevó a cabo el psicólogo Philip Zimbardo en la prisión de Stanford, los actores asumían en muy poco tiempo las actitudes y los comportamientos característicos de los guardias y los reclusos.[30]

El conocimiento de la racionalidad de las decisiones individuales dentro de los límites de la información disponible no justifica las conductas estrechas de miras. Nos ayuda a comprender por qué surgen esos comportamientos. Dentro de los límites de lo que un actor situado en esa parte del sistema puede ver y conocer, la conducta es razonable. Si sacamos a un individuo de una posición de racionalidad limitada y situamos a otro en su lugar, las cosas no cambiarán demasiado. Culpar a los individuos no ayuda a conseguir resultados más deseables.

Para lograr un cambio, lo primero que hay que hacer es distanciarse de la información limitada que podemos observar desde una única posición del sistema y obtener una visión de conjunto. Desde una perspectiva más amplia, los flujos de información, las metas, los incentivos y los desincentivos pueden reestructurarse para que las acciones independientes, limitadas, racionales, se sumen para obtener los resultados que todo el mundo desea.

Una información mejor, más completa y puntual provoca una ligera ampliación de la racionalidad limitada que a su vez da lugar a un cambio de comportamiento de una manera increíblemente rápida y sencilla.

* * *

Interludio. Los contadores de electricidad en los hogares holandeses

Cerca de Ámsterdam existe un suburbio residencial de viviendas unifamiliares, todas iguales, que se construyeron a la vez. En realidad, no son exactamente iguales. Por razones desconocidas, a algunas de ellas les instalaron el contador de electricidad en el sótano. En las demás, el contador eléctrico se encuentra en el vestíbulo principal.

Todos los contadores funcionan con una ampolla de cristal con una ruedecilla metálica horizontal en el interior. Cuando la vivienda

consume más electricidad, la ruedecilla gira más rápido y los kilovatios por hora se van registrando en un dial.

Durante el embargo de petróleo y la crisis energética de principios de los años setenta, los holandeses empezaron a preocuparse por el consumo de energía. Se descubrió que algunas de las viviendas de esta urbanización consumían un tercio menos de electricidad que las demás. Nadie podía explicárselo. La electricidad costaba lo mismo para todos y las familias que vivían en todas aquellas casas eran similares.

Al final se descubrió que la diferencia radicaba en la situación del contador. Las familias que más consumían eran las que tenían el contador en el sótano, donde casi nunca lo veían. Las que consumían poco lo tenían en el vestíbulo principal, pasaban por delante constantemente y veían cómo la ruedecilla giraba y la factura de la electricidad aumentaba.[31]

* * *

Algunos sistemas poseen una estructura que les permite funcionar bien a pesar de la racionalidad limitada. La retroalimentación adecuada llega al lugar adecuado en el momento adecuado. En circunstancias normales, nuestro hígado recibe la información que necesita para hacer su trabajo. En los ecosistemas sin alteraciones y en las culturas tradicionales, si se deja a su aire a los individuos, a las especies o a la población media, contribuyen con su comportamiento a la estabilidad del conjunto del sistema. Estos sistemas son capaces de autorregularse. No crean problemas. No necesitan agencias gubernamentales ni montones de políticas fallidas.

Desde que Adam Smith formulara sus teorías, siempre se ha pensado que el mercado libre, competitivo, es uno de esos sistemas adecuadamente estructurados que se autorregulan. En cierto sentido, lo es. En otros, obviamente, para cualquiera que esté dispuesto a observar la realidad, no lo es. Un mercado libre permite a los productores y a los consumidores, que disponen de la mejor información acerca de las oportunidades de producción y las opciones de consumo, tomar decisiones bastante libres que se pueden considerar racionales desde un punto de vista local. Pero esas decisiones no pueden, por sí solas, corregir la tendencia general del sistema a crear monopolios y efectos secundarios no deseables (factores externos), a discriminar a los pobres y a exceder su capacidad de carga sostenible.

Parafraseando la famosa plegaria: ¡Dios nos ha concedido la serenidad suficiente para ejercer nuestra racionalidad limitada libremente en los sistemas que poseen una estructura adecuada, el coraje para reestructurar los sistemas que no la poseen y la sabiduría

para apreciar la diferencia!

La racionalidad limitada de cada actor de un sistema no tiene por qué favorecer decisiones que promuevan el bienestar del conjunto del sistema.

La racionalidad limitada de cada actor de un sistema —determinada por la información, los incentivos, los desincentivos, las metas, las tensiones y las restricciones que afectan a ese actor— puede favorecer decisiones que promuevan el bienestar del conjunto del sistema, pero no tiene por qué hacerlo. En caso negativo, incorporar nuevos actores al mismo sistema no servirá para mejorar el rendimiento del sistema. Lo que hay que hacer es reconfigurar el sistema para mejorar la información, los incentivos, los desincentivos, las metas, las tensiones y las restricciones que afectan a los actores específicos.

[19] Wendell Berry, *Standing by Words*, Washington, DC:, Shoemaker & Hoard, 2005, p. 65.

[20] Kenneth Boulding, «General Systems as a Point of View», en Mihajlo D. Mesarovic ed., *Views on General Systems Theory*, actas del Second Systems Symposium, Case Institute of Technology, Cleveland, abril de 1963, Nueva York, John Wiley & Sons, p. 196.

[21] James Gleick, *Chaos: Making a New Science*, Nueva York, Viking, 1987, pp. 23-24. [Trad. cast.: *Caos: la creación de una ciencia*, Barcelona, Crítica, 2012].

[22] Esta historia procede de las siguientes fuentes: C. S. Holling, «The Curious Behavior of Complex Systems: Lessons from Ecology», en H. A. Linstone, *Future Research*, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1977; B. A. Montgomery *et al.*, *The Spruce Budworm Handbook*, Michigan Cooperative Forest Pest Management Program, Handbook 82-7, noviembre de 1982; *The Research News*, University of Michigan, abril-junio de 1984; Kari Lie, «The Spruce Budworm Controversy in New Brunswick and Nova Scotia», *Alternatives*, núm. 10 (primavera de 1980), p. 5; R. F. Morris, «The Dynamics of Epidemic Spruce Budworm Populations», *Entomological Society of Canada*, núm. 31, (1963).

[23] Garrett Hardin, «The Cybernetics of Competition: A Biologist's View of Society», *Perspectives in Biology and Medicine* 7, núm. 1 (1963), pp. 58-84.

[24] Jay W. Forrester, *Urban Dynamics*, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1969, p. 117.

[25] Václav Havel, extracto de un discurso pronunciado en el Instituto de Francia, se cita en *International Herald Tribune*, noviembre, 13, 1992, p. 7.

[26] Dennis L. Meadows, *Dynamics of Commodity Production Cycles*, Cambridge, Massachusetts, Wright-Allen Press, Inc., 1970.

[27] Adam Smith, *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, Edwin Cannan, ed., Chicago, University of Chicago Press, 1976, pp. 477-478. [Trad. cast.: *Investigación sobre la naturaleza y las causas de la riqueza de las naciones*, Madrid, Alianza editorial, 2011].

[28] Herman Daly, ed., *Toward a Steady-State Economy*, San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1973, p. 17; Herbert Simon, «Theories of Bounded Rationality», en R. Radner y C. B. McGuire, eds., *Decision and Organization*, Ámsterdam, North-Holland Pub. Co., 1972.

[29] H. Simon, *Models of Man*, Nueva York, Wiley, 1957. El término inglés que emplea la autora, intraducible, es «*satisficers*», derivado de «satisficing» (resultado de la combinación del verbo «*satisfy*» [satisfacer] con el verbo «suffice» [ser suficiente, bastar]). Se trata de una expresión acuñada por Herbert Simon para describir las decisiones que satisfacen adecuadamente las necesidades en lugar de intentar maximizar los resultados a pesar de una información imperfecta *[N. del T.]*.

[30] Philip G. Zimbardo, «On the Ethics of Intervention in Human Psychological Research: With Special Reference to the Stanford Prison Experiment», *Cognition* 2, núm. 2 (1973), pp. 243-256.

[31] Esta anécdota me la contaron en un congreso en Kollekolle, Dinamarca, en 1973.

05

Trampas… y oportunidades de los sistemas

«Las élites racionales […] saben todo lo que hay que saber de sus mundos técnicos o científicos autónomos, pero carecen de una perspectiva más amplia. Hay de todo, desde cuadros marxistas a jesuitas, desde doctores de Harvard hasta oficiales del ejército. […] Hay algo que les preocupa a todos por igual: cómo conseguir que funcione su sistema particular. Entretanto […] la civilización avanza en una dirección cada vez más incierta e incomprensible».

JOHN RALSTON SAUL, científico político[32]

Los retrasos, los procesos no lineales, la falta de fronteras rígidas y otras propiedades de los sistemas que nos deparan sorpresas afectan a casi todos los sistemas. Por lo general, no son propiedades que se puedan o se deban cambiar. El mundo no es lineal. Intentar hacerlo lineal porque nos conviene desde un punto de vista matemático o administrativo no suele ser una buena idea, aunque sea factible, y, por otra parte, rara vez lo es. Las fronteras dependen de los problemas, son efímeras y desordenadas; también son necesarias para la organización y la claridad. Para conseguir que los sistemas complejos no nos deparen tantas sorpresas lo que hay que hacer, básicamente, es prever, valorar y aprovechar la complejidad del mundo.

Pero algunos sistemas no solo son sorprendentes. Son perversos. Se trata de sistemas cuya estructura produce comportamientos verdaderamente conflictivos; nos causan muchos problemas. Los problemas que generan los sistemas pueden adoptar numerosas formas, algunas son peculiares, pero hay muchas increíblemente comunes. Llamamos **«arquetipos»** a las estructuras de sistema que generan esas pautas tan comunes de comportamiento problemático. La adicción, la deriva hacia el rendimiento bajo y la escalada son algunos de los comportamientos que manifiestan estos arquetipos. Son tan frecuentes que me ha bastado con leer durante una semana el *International Herald Tribune* para encontrar una cantidad suficiente de ejemplos que me permitan ilustrar cada uno de los arquetipos que describiré en este capítulo.

Pero comprender las estructuras arquetípicas que generan problemas no es suficiente. Son intolerables. Es necesario cambiarlas. La destrucción que provocan suele atribuirse a actores o acontecimientos particulares, aunque en realidad es una consecuencia de la propia estructura del sistema. Buscar responsables, imponer medidas disciplinarias, despidos; intensificar las medidas, esperar a que comience una secuencia más favorable de acontecimientos determinantes, realizar pequeños ajustes… Ninguna de estas

respuestas estándar sirve para solucionar un problema estructural. Por eso me gusta definir estos arquetipos como «trampas».

Pero podemos escapar de las trampas de los sistemas. Podemos reconocerlas de antemano para evitar caer en ellas, o alterar su estructura; podemos reformular los objetivos, debilitar, reforzar o alterar los bucles de retroalimentación; añadir nuevos bucles. Por eso, a mi modo de ver, estos arquetipos no son solo trampas, sino también oportunidades.

Resistencia a las políticas: soluciones fallidas

> *«"Creo que la desgravación fiscal ha sido durante mucho tiempo un estímulo económico eficaz", ha asegurado Joseph W. Duncan, economista principal de Dun & Bradstreet Corp. […]*
>
> *Pero ha generado mucho escepticismo. Dicen que no está demostrado que los créditos a la inversión, que se han concedido, modificado y derogado una y otra vez en los últimos treinta años, favorezcan en modo alguno el crecimiento económico».*
>
> JOHN H. CUSHMAN, Jr., *International Herald Tribune*, 1992[33]

Como vimos en el capítulo 2, el primer síntoma que revela la existencia de una estructura con un bucle compensador es que la presión que ejercen las fuerzas exteriores sobre el sistema no le afectan demasiado. Los bucles compensadores contribuyen a la estabilización de un sistema; las pautas de comportamiento persisten. Este tipo de estructura funciona a la perfección, si lo que pretendemos es mantener la temperatura de nuestro cuerpo a 37 grados, pero a veces no resulta conveniente que determinadas pautas de comportamiento se mantengan durante un periodo de tiempo muy prolongado. A pesar de los esfuerzos por inventar «soluciones» tecnológicas o políticas, el sistema se atasca irremediablemente y genera el mismo comportamiento todos los años. En este caso, nos enfrentamos a la trampa de las «soluciones fallidas» o de la «resistencia a las políticas». Esto sucede, por ejemplo, con los programas agrícolas que intentan reducir los excedentes todos los años, sin lograr acabar con la superproducción. Con las campañas antidroga que no consiguen acabar con la droga. No existen demasiadas pruebas que demuestren que la desgravación fiscal y muchas otras políticas destinadas al estímulo de la inversión funcionan realmente cuando el mercado no recompensa las inversiones. Ninguna política individual ha sido capaz hasta ahora de reducir los costes de la sanidad en Estados Unidos. Después de varias décadas de «creación de empleo» no se ha conseguido alcanzar una tasa de desempleo que se estabilice en un nivel bajo. Seguramente, podríamos enumerar un montón de áreas en las que los esfuerzos energéticos no acaban de producir resultados duraderos.

El origen de la resistencia a las políticas se encuentra en la racionalidad limitada de los actores de un sistema, hombres, mujeres

(o «cosas», en el caso de una institución) que poseen sus propios objetivos. Cada actor controla el estado del sistema en relación con alguna variable importante —los ingresos o los precios o la vivienda o las drogas o la inversión— y compara ese estado con su propio objetivo. Si existe una discrepancia, cada actor hace algo para corregir la situación. Por lo general, cuanto mayor sea la discrepancia entre el objetivo y la situación actual, más enfática será la acción.

Esa resistencia al cambio surge cuando los objetivos de los subsistemas son diferentes e incompatibles entre sí. Imaginemos un sistema con una única reserva —el suministro de droga disponible en las calles de la ciudad, por ejemplo— y varios actores que intentan tirar de ella en distintas direcciones. Los drogadictos quieren que se mantenga alta; las fuerzas de seguridad, que se mantenga baja; los traficantes, justo en el término medio, para que los precios no suban ni bajen demasiado. El ciudadano medio lo que quiere en realidad es evitar los atracos de los drogadictos, que necesitan dinero para poder comprar droga. Todos los actores se esfuerzan al máximo por alcanzar sus diferentes metas.

Si cualquiera de ellos logra cierta ventaja y consigue que la reserva del sistema (el suministro de droga) avance en una dirección (si las fuerzas policiales interceptan un alijo de droga en la frontera), los otros redoblarán sus esfuerzos para que se recupere y vuelva a la situación original (los precios en la calle subirán, los adictos tendrán que cometer más crímenes para comprar sus dosis diarias, la subida de los precios generará más beneficios, los traficantes utilizarán esos beneficios para comprar aviones y barcos y evitar de ese modo a las patrullas fronterizas). En conjunto, estos movimientos contrarios darán lugar a un estancamiento, la reserva no variará demasiado, y eso no es lo que quiere ninguno de los actores.

En un sistema que se resiste a las políticas y cada actor tira en una dirección diferente, todo el mundo tiene que realizar un gran esfuerzo para que el sistema se mantenga en un punto donde nadie quiere que se mantenga. Si cualquiera de ellos afloja, los otros tirarán del sistema para que se acerque a sus objetivos y se aleje del objetivo del actor que se ha relajado. De hecho, esta estructura de sistema puede funcionar como una rueda dentada. El recrudecimiento de los esfuerzos de cualquiera provoca el recrudecimiento de los de todos los demás. Es difícil reducir la intensidad. Se necesita una tremenda dosis de confianza mutua para decir: «Está bien, ¿por qué no nos ponemos todos de acuerdo y damos marcha atrás durante un rato?».

Las consecuencias de la resistencia a las políticas pueden llegar a ser dramáticas. En 1967, el gobierno de Rumanía decidió que el país necesitaba incrementar su población y que la manera de lograrlo era prohibir los abortos a las mujeres menores de cuarenta y cinco años.

Los abortos se prohibieron de golpe. Poco después, la tasa de natalidad se triplicó. Entonces, la resistencia del pueblo rumano a las políticas se puso en marcha.

Aunque se mantuvo la prohibición de los anticonceptivos y los abortos, la tasa de nacimientos se redujo hasta alcanzar de nuevo prácticamente los niveles anteriores. Este resultado se logró principalmente mediante la práctica de arriesgados abortos ilegales que contribuyó a que se triplicara la mortalidad maternal. Además, muchos de los hijos no deseados que nacieron durante la ilegalización del aborto fueron abandonados en orfanatos. Las familias rumanas eran demasiado pobres para criar dignamente a los numerosos niños que su gobierno quería, y eran conscientes de ello. Así que se resistieron a las políticas que había puesto en marcha el gobierno para aumentar el tamaño medio de las familias, y el coste que tuvieron que pagar ellos mismos y la generación de niños que se crio en los orfanatos fue enorme.

Una manera de enfrentarse a la resistencia a las políticas es intentar someterla. Si ejercemos el poder suficiente y somos capaces de mantenerlo, este recurso puede llegar a funcionar, a expensas de un resentimiento monumental y de la posibilidad de que genere consecuencias explosivas si en algún momento ceja la represión. Esto fue lo que sucedió con Nicolae Ceausescu, el gobernante rumano que diseñó esta medida demográfica e intentó por todos los medios acabar con la resistencia con la que se topó. Cuando su gobierno fue derrocado, fue ejecutado con toda su familia. La primera ley que derogó el nuevo gobierno fue la prohibición del aborto y de los métodos anticonceptivos.

La alternativa al sometimiento de la resistencia a las políticas es tan contraintuitiva que todo el mundo la pasa por alto. Abandonar. Renunciar a las políticas ineficaces. Destinar a otros fines más constructivos los recursos y la energía que se invierten en intentar imponer una medida y en resistirse a ella. Quizá no consigamos someter el sistema a nuestra voluntad, pero dejará de avanzar en la dirección equivocada, porque gran parte de la acción que estábamos intentando corregir era una respuesta a nuestra propia acción. Si nos relajamos, los que tiran en la dirección contraria también se tranquilizarán. Esto fue lo que sucedió en 1933 cuando se derogó la «Ley Seca» en Estados Unidos; el caos provocado por el alcohol también desapareció en gran medida.

Este relajamiento puede brindarnos la oportunidad de observar con mayor atención los procesos de retroalimentación que actúan dentro del sistema, de comprender la racionalidad limitada que se oculta detrás ellos y de encontrar una manera de cumplir los objetivos de los distintos actores que participan en el sistema, a la vez que lo

orientamos en una dirección más conveniente.

Por ejemplo, una nación que quiere incrementar su tasa de natalidad se preguntará por qué las familias tienen menos hijos y es posible que descubra que no es que no les gusten los niños. Quizá lo que sucede es que no disponen de los recursos, del espacio vital, del tiempo libre ni de la seguridad necesarios para traer más niños al mundo. En la misma época que se prohibieron los abortos en Rumanía, los gobernantes húngaros también estaban preocupados por la baja tasa de natalidad de la nación. La mano de obra era tan escasa que temían que pudiera desatarse una crisis económica. El gobierno húngaro descubrió que una de las razones de que las familias no se animaran a tener más hijos era el hacinamiento. El gobierno diseñó una política destinada a recompensar a las familias más numerosas con un espacio vital más amplio. Esta medida solo tuvo un éxito parcial, porque la vivienda no era el único problema. Pero tuvo mucho más éxito que la política rumana y evitó las desastrosas consecuencias que tuvieron que afrontar los rumanos.[34]

La manera más eficaz de enfrentarse a la resistencia a las políticas es hallar una manera de nivelar los diferentes objetivos de los subsistemas, y la manera más habitual de hacerlo es proporcionarles una meta global que permita a todos los actores liberarse de su propia racionalidad limitada. Si todos pueden trabajar armoniosamente para conseguir el mismo resultado (si todos los bucles de retroalimentación se ponen al servicio del mismo objetivo), se pueden obtener resultados sorprendentes. Uno de los ejemplos que mejor ilustran esta armonización de objetivos es la movilización de la economía en tiempos de guerra, o la recuperación después de una guerra o de una catástrofe natural.

Otro buen ejemplo es el de la política demográfica de Suecia. En la década de 1930, la tasa de natalidad cayó vertiginosamente en este país y, al igual que los gobiernos de Rumanía y de Hungría, los dirigentes suecos estaban verdaderamente preocupados por esta cuestión. A diferencia de Rumanía y de Hungría, el gobierno sueco valoró sus objetivos y los de la población y decidió que existía una base de consenso, no en relación con el tamaño de las familias, sino con la calidad de la atención infantil. No se podía traer al mundo ningún niño que no fuera deseado y que no pudiera ser alimentado. Todos los niños tenían que tener cubiertas sus necesidades materiales. Todos debían tener acceso a una educación y a una sanidad excelentes. Estos eran los objetivos en los que estaban de acuerdo el gobierno y el pueblo sueco.

La política resultante parecía extraña en una época en que la tasa de natalidad era tan baja, pues, entre otras cosas, se decretó que los anticonceptivos y el aborto fueran gratuitos, de acuerdo con el

principio de que no podían traerse al mundo hijos no deseados. Además, se puso en marcha una campaña exhaustiva de educación sexual, se flexibilizaron las leyes del divorcio, se empezó a ofrecer una sanidad obstétrica gratuita, se concedieron subvenciones para las familias necesitadas y se incrementaron las inversiones en educación y sanidad.[35] Desde entonces, la tasa de natalidad en Suecia ha experimentado numerosos altibajos, pero se han encajado con tranquilidad, pues la nación está concentrada en un objetivo mucho más importante que el incremento de la población.

La armonización de objetivos no siempre es viable, pero es una opción que merece la pena tener en cuenta. Solo se puede alcanzar si se abandonan otros objetivos menos ambiciosos y si se considera el bienestar a largo plazo del conjunto del sistema.

La trampa: resistencia a las políticas

Cuando varios actores intentan tirar de la reserva de un sistema para conseguir diferentes objetivos, la consecuencia puede ser la resistencia a las políticas. Cualquier política nueva, sobre todo si es efectiva, lo único que consigue es que la reserva se aleje de los objetivos de los demás actores y provoca una resistencia añadida y un resultado que no gusta a nadie, aunque todos invierten un esfuerzo considerable en mantenerlo.

La solución

Relajarse. Integrar a todos los actores y aprovechar la energía que hasta entonces invertían en resistirse a las políticas para buscar vías que satisfagan a todas las partes y permitan alcanzar todos los objetivos —o redefinir objetivos más generales y ambiciosos que todos puedan perseguir juntos.

La tragedia de los recursos comunes

«Los líderes de la coalición del canciller Helmut Kohl, encabezada por la Unión Demócrata Cristiana, acordaron la semana pasada, con la oposición de los socialdemócratas, después de meses de discusiones, revertir el flujo de migración económica limitando las condiciones para solicitar asilo».

International Herald Tribune, 1992[36]

La trampa denominada «tragedia de los recursos comunes» surge cuando se produce un aumento vertiginoso, o un simple crecimiento, en un entorno compartido, erosionable.

El ecologista Garrett Hardin describía el sistema de los recursos comunes en un artículo clásico que escribió en 1968. Hardin utilizaba como ejemplo una tierra de pastoreo normal:

> Imaginemos unos pastos abiertos a todo el mundo. Es de esperar que cada pastor intente introducir en ese recurso común tantas cabezas de ganado como le sea posible. […] Explícita o implícitamente, consciente o inconscientemente, se pregunta: «¿Qué beneficio puedo obtener si aumento mi rebaño en una cabeza más?» [...]
>
> Dado que el pastor recibe todos los beneficios procedentes de la venta de esa cabeza de ganado adicional, la utilidad positiva es cercana a + 1 […]. Sin embargo, puesto que los efectos del sobrepastoreo son compartidos por todos los pastores […], la utilidad negativa de cualquier decisión particular tomada por un pastor es solamente una fracción de -1. […]
>
> El pastor racional llega a la conclusión de que la única decisión sensata para él es añadir otro animal a su rebaño, y otro más. […] Pero esta es la conclusión a la que

> llegan todos y cada uno de los pastores sensatos que comparten los recursos comunes. Y en eso radica la tragedia. Cada hombre está atrapado en un sistema que le empuja a incrementar su ganado ilimitadamente, en un mundo limitado. La ruina es el destino hacia el cual se precipitan todos ellos, cada uno buscando su mejor provecho.[37]

¡Una síntesis perfecta de la racionalidad limitada!

En cualquier sistema de recursos comunes contamos, en primer lugar, con un recurso que se suele compartir (el pasto). Para que se produzca la tragedia en el sistema, no basta solo con que el recurso sea limitado, sino que debe erosionarse cuando se sobreexplota. Es decir, cuando se supera cierto límite, a mayor escasez de recurso, menor capacidad de regeneración, o mayor probabilidad de destrucción. Cuando la hierba escasea, las vacas empiezan a comerse incluso la base de los tallos, que es donde crece la hierba nueva. Las raíces ya no evitan que el agua se lleve la tierra cuando llueve. A menor cantidad de tierra, peor crecimiento de la hierba. Y así sucesivamente. Un nuevo bucle de retroalimentación echado a perder.

Un sistema de recursos comunes también necesita usuarios que lo aprovechen (las vacas y sus propietarios). Estos usuarios tienen buenos motivos para crecer en número, y lo hacen a un ritmo *que no se encuentra condicionado por el estado de los recursos comunes*. El pastor individual no tiene ninguna razón, ningún incentivo, ningún poderoso proceso de retroalimentación para permitir que la posibilidad de la sobreexplotación del pasto le impida añadir otro animal al pasto común. Para él, por el contrario, todo son ventajas.

El esperanzado inmigrante que decide viajar a Alemania no espera otra cosa que beneficiarse de las generosas leyes de asilo de este país, y no tiene ningún motivo para tener en cuenta el hecho de que un exceso de inmigración inevitablemente obligará a Alemania a endurecer esas leyes. ¡De hecho, enterarse de que Alemania se está planteando esa posibilidad es una razón más para emprender el viaje cuanto antes!

La tragedia de los recursos comunes surge de *la desaparición (o de un retraso demasiado prolongado) del vínculo de retroalimentación* del recurso, que favorece el crecimiento de los usuarios de ese recurso.

A mayor número de usuarios, mayor cantidad de recurso utilizado. A mayor recurso utilizado, menor cantidad de recurso por usuario. Si los usuarios se atienen a la racionalidad limitada de los recursos comunes («¡¿Por qué tengo que ser precisamente *yo* el que reduzca el número de animales?!»), no existe ninguna razón para que ninguno de ellos reduzca el uso. Al final, por tanto, el ritmo de explotación excederá la capacidad de producción del recurso. Dado que el usuario no recibe retroalimentación alguna, la sobreexplotación continuará. El recurso se reducirá. Por fin, el bucle de erosión entrará en escena, el recurso se destruirá y todos los usuarios se arruinarán.

Sin duda pensaréis que ningún colectivo humano puede

comportarse con tal estrechez de miras como para acabar destruyendo sus propios recursos comunes. Pero veamos unos cuantos ejemplos de recursos comunes que han acabado o acabarán en catástrofe:

→ El acceso incontrolado a un popular parque nacional puede atraer a tal cantidad de visitantes que se destruyan los tesoros naturales del parque.

→ Todo el mundo obtiene un beneficio inmediato si seguimos utilizando combustibles fósiles, aunque el dióxido de carbono de estos combustibles es un gas de efecto invernadero que provoca un cambio climático global.

→ Si todas las familias pueden tener los hijos que quieran, pero es el conjunto de la sociedad quien costea la educación, la sanidad y la protección del medio ambiente para todos los niños, el número de niños que nazcan puede sobrepasar la capacidad de la sociedad para mantenerlos (Hardin escribió su famoso artículo pensando en este caso).

En estos tres ejemplos se describe la sobreexplotación de un recurso renovable: una estructura que ya vimos en nuestra visita al zoo de los sistemas. Pero la tragedia no solo nos acecha cuando utilizamos recursos comunes, sino también cuando compartimos un sumidero, un lugar donde todos podemos verter residuos contaminantes. Una familia, una compañía o una nación puede reducir sus costes, incrementar sus beneficios o crecer a un ritmo superior si consigue que la totalidad de la comunidad absorba o gestione sus residuos. Se obtienen grandes beneficios y la comunidad en cuestión solo tiene que vivir con una fracción de sus propios residuos (o eliminarlos del todo, si puede verterlos en el río o conseguir que se los lleve el viento). No existe ningún motivo racional para que alguien que contamina deje de hacerlo. En estos casos, la retroalimentación que afecta al ritmo de explotación de un recurso común —ya sea una fuente o un sumidero— es muy débil.

Si os resulta difícil entender la forma de razonar de una persona que se dedica a explotar los recursos comunes, preguntaos hasta qué punto estaríais dispuestos a compartir vuestro coche para reducir la contaminación o a limpiar lo que ensuciáis.

La propia estructura de un sistema de recursos comunes hace que un comportamiento egoísta sea mucho más conveniente y beneficioso que la conducta responsable para la totalidad de la comunidad y para el futuro.

Existen tres maneras de evitar la tragedia de los comunes:

→ *Educar y exhortar*. Hacer ver a la gente las consecuencias de un uso desenfrenado de los recursos comunes. Apelar a su moralidad. Convencerlos de que es necesario actuar con moderación. Amenazar a los transgresores con la condena social y

con las llamas del infierno.

→ *Privatizar los recursos comunes*. Dividirlos de manera que cada persona sufra las consecuencias de sus propias acciones. Las personas que carecen de la capacidad de autocontrol suficiente para no superar la capacidad de carga de su propio recurso privado solo se perjudicarán a sí mismas.

→ *Regular los recursos comunes*. Garrett Hardin definía esta opción de una manera muy contundente: «coerción mutua acordada mutuamente». La regulación puede adoptar muchas formas, desde la prohibición directa de ciertos comportamientos a los cupos, los permisos, los impuestos o los incentivos. Para ser efectiva, la regulación tiene que reforzarse con vigilancia policial y sanciones.

La primera de estas soluciones, la exhortación, intenta reducir la explotación de los recursos comunes a través de la presión moral, para que su existencia no se vea amenazada. La segunda, la privatización, establece un vínculo directo de retroalimentación entre el estado del recurso y las personas que lo explotan, y así se garantiza que los beneficios y las pérdidas recaigan sobre la propia persona que toma las decisiones. Puede que el propietario siga abusando del recurso en cuestión, pero si lo sigue haciendo es porque es un ignorante o un loco. La tercera solución, la regulación, establece un vínculo indirecto de retroalimentación entre el estado del recurso y los usuarios a través de los reguladores. Para que este proceso de retroalimentación funcione, los reguladores tienen que poseer la experiencia necesaria para supervisar e interpretar correctamente el estado de los recursos comunes, tienen que disponer de medios de disuasión efectivos y tener en mente el bien del conjunto de la comunidad (la desinformación, la debilidad y la corrupción no pueden tener cabida).

Algunas culturas «primitivas» han conseguido gestionar recursos comunes de manera efectiva durante generaciones gracias a la educación y la exhortación. Sin embargo, para Garrett Hardin no es la opción más fiable. Los recursos comunes que solo están protegidos por la tradición o por un «código de honor» pueden atraer a aquellos que no respetan la tradición ni se rigen por ese código.

La privatización funciona mejor que la exhortación, siempre que la sociedad esté dispuesta a permitir que algunos individuos aprendan sufriendo las consecuencias de sus errores en sus propias carnes. Pero hay muchos recursos, como la atmósfera y los peces del mar, que, sencillamente, no se pueden privatizar. La única opción eficaz, por tanto, sería la «coerción mutua de mutuo acuerdo».

La vida está llena de acuerdos de coerción mutua, y la mayoría de ellos son tan corrientes que ni siquiera reparamos en ellos. Todos estos acuerdos limitan la libertad para abusar de los recursos comunes, pero

también preservan la libertad para explotarlos. Por ejemplo:

- ⟶ El espacio común del centro de un cruce muy transitado está regulado por semáforos. No podemos cruzar cuando nos dé la gana. Cuando nos llega el turno, sin embargo, podemos hacerlo de una manera mucho más segura que si hubiera una libertad total sin regulación alguna.
- ⟶ El uso de las zonas de aparcamiento en el centro de las ciudades está regulado por parquímetros que cobran por una plaza de aparcamiento y limitan el tiempo de estacionamiento. No podemos aparcar donde nos dé la gana durante el tiempo que queramos, pero con los parquímetros tenemos una mayor probabilidad de encontrar aparcamiento.
- ⟶ No podemos disponer libremente del dinero de los bancos, aunque sería lo más conveniente para nosotros. Los mecanismos de seguridad, como el de las cajas fuertes, y el refuerzo de la policía y la cárcel, evitan que utilicemos los bancos como si fueran un recurso común. A cambio, los bancos protegen nuestro dinero.
- ⟶ No se puede emitir un programa de radio utilizando las ondas que transmiten la señal de radio o de televisión. Es necesario solicitar un permiso a una agencia reguladora. Si la libertad de emisión no estuviera limitada, las ondas de radio serían un caos de señales superpuestas.
- ⟶ Muchos sistemas municipales de recogida de basuras se han convertido en servicios tan costosos que las viviendas pagan un impuesto por la eliminación de residuos en función de la basura que generan, de manera que un sistema de recursos comunes se ha convertido en un sistema distributivo regulado.

Estos ejemplos demuestran que la «coerción mutua de mutuo acuerdo» puede adoptar muchas formas diferentes. El semáforo regula el acceso a un recurso común de acuerdo con un sistema de «turno de espera». Los parquímetros cobran por el uso de unas plazas de aparcamiento comunes. Los bancos se sirven de barreras físicas y sanciones severas. Las agencias gubernamentales conceden permisos para utilizar las frecuencias de radiodifusión a los que las solicitan. Y los impuestos de basuras restituyen directamente un proceso de retroalimentación que había dejado de funcionar, de tal manera que cada vivienda sufre el impacto económico de su explotación de un recurso común.

La trampa: la tragedia de los recursos comunes

En el caso de un recurso compartido, todos los usuarios se benefician directamente de su explotación, pero comparten los costes del abuso de ese recurso. Por tanto, el vínculo de retroalimentación entre el estado del recurso y las decisiones de los usuarios es muy débil. La consecuencia es la sobreexplotación del recurso, que se erosiona hasta que nadie puede disponer de él.

La solución

Educar y exhortar a los usuarios para que vean las consecuencias de la sobreexplotación del recurso. Y también restablecer o reforzar el vínculo de retroalimentación que ha desaparecido, bien privatizando el recurso para que cada usuario experimente directamente las consecuencias del abuso, bien (dado que muchos recursos no se pueden privatizar) regulando el acceso de todos los usuarios al recurso.

La mayoría de las personas acatan los sistemas regulatorios la mayor parte del tiempo, siempre que se impongan de común acuerdo y se comprenda su finalidad. Pero todos los sistemas regulatorios deben hacer uso del poder policial y de las sanciones para castigar a los individuos que no cooperan.

La deriva hacia el rendimiento bajo

«En esta recesión, los británicos han descubierto que […] la economía, como siempre, tiende a desacelerarse. Hasta las catástrofes naturales se interpretan como portentos que indican un declive aún mayor. El domingo apareció en la primera página de The Independent un artículo sobre "la inquietante sensación de que el incendio de Windsor es un síntoma más de la situación general del país, de que es el resultado de un nuevo rasgo distintivo de esta nación: la ineptitud […]".

"Sabemos lo que tenemos que hacer, pero, por alguna extraña razón, no lo hacemos", insistía lord Preston, el portavoz laborista de comercio e industria.

Los políticos, los empresarios y los economistas critican al país, aduciendo que los jóvenes reciben una educación insuficiente, que tanto los empleados como los administrativos cuentan con una formación deficiente, que la inversión se escatima y que los políticos no saben qué hacer con la economía».

ERIK IPSEN, *International Herald Tribune*, 1992[38]

Algunos sistemas no solo se resisten a las políticas y normalizan una situación precaria, sino que además empeoran. Uno de los nombres que recibe este arquetipo es el de la «deriva hacia el rendimiento bajo». Un buen ejemplo es el descenso de la cuota de mercado de una empresa, o el empeoramiento de la calidad del servicio de un hospital, o el incremento constante de la contaminación de los ríos o del aire, o el de las personas que se someten a dietas periódicas pero siguen acumulando grasa, o el de la situación de las escuelas públicas norteamericanas —o el de mi plan de hacer *footing* todos los días—, que un buen día, sin saber muy bien por qué, sencillamente desaparecieron.

En este bucle de retroalimentación, los actores (el gobierno británico, la empresa, el hospital, la persona obesa, el gestor de las escuelas, el corredor) se han fijado, como suele ser habitual, un objetivo de rendimiento o un estado deseado del sistema que se compara con el estado real. Si se detecta una discrepancia, se emprende una acción. Hasta ahí, se trata de un bucle de retroalimentación compensador convencional cuya función consiste en mantener el nivel de rendimiento deseado.

Pero en este sistema, existe una diferencia entre el estado real del sistema y la percepción que se tiene de él. *El actor tiende a conceder*

más crédito a las malas noticias que a las buenas. Cuando el rendimiento real varía, los mejores resultados se consideran anormales y se descartan, y los peores resultados permanecen en la memoria. El actor piensa que la situación es peor de lo que es en realidad.

Y, para colmo, en este dramático arquetipo, *la percepción del estado determina el estado deseado*. Los criterios no son absolutos. Cuando la percepción del rendimiento empeora, se permite que el objetivo empeore también. «Bueno, no se puede esperar mucho más». «Bueno, no nos va demasiado peor que el año pasado». «Bueno, mira a tu alrededor, a los demás tampoco les va demasiado bien».

El bucle de retroalimentación compensador que debería mantener el estado del sistema en un nivel aceptable se ve superado por un bucle reforzador que le obliga a descender a toda velocidad. A mayor deterioro de la percepción del estado del sistema, mayor deterioro del propio estado deseado. A mayor deterioro del estado deseado, mayor reducción de la discrepancia, y menor volumen de acciones correctoras. A menor volumen de acciones correctoras, mayor deterioro del estado del sistema. Si se permite que este bucle funcione de manera descontrolada, puede conducir a una degradación constante del rendimiento del sistema.

Esta trampa de los sistemas también se conoce con el nombre de «erosión de objetivos». También se define como el «síndrome de la rana cocida», un nombre basado en una vieja anécdota que no sé si será cierta. Al parecer, si echas una rana a una olla con agua hirviendo, la rana pegará un brinco y escapará rápidamente; pero si la dejas en una olla con agua fría y vas calentándola poco a poco, se quedará allí tan tranquila hasta que se cueza. «Parece que hace un poquito más de calor. Bueno, pero no mucho más que hace un rato». La deriva hacia el rendimiento bajo es un proceso gradual. Si el sistema se desplomara súbitamente, se pondría en marcha un proceso corrector. Pero si se va deteriorando a un ritmo lo suficientemente lento para que desaparezca el recuerdo (o la convicción) de que las cosas antes eran mejores, todo el mundo se deja llevar y acaba cayendo en el deterioro gradual de las expectativas, del esfuerzo y del rendimiento.

Existen dos antídotos para contrarrestar la erosión de objetivos. El primero consiste en ceñirse a unos criterios absolutos, sea cual sea el rendimiento. El segundo, en conseguir que los objetivos se adapten a los *mejores* rendimientos pasados, no a los peores. Si percibimos el rendimiento con una predisposición positiva, si tomamos como criterio los mejores resultados y consideramos que los resultados más negativos no son más que un contratiempo pasajero, entonces la misma estructura sistémica podrá fortalecer el sistema para conseguir un rendimiento cada vez mejor. El bucle reforzador descendente, el

que decía «cuanto más empeoren las cosas, más dejaré que empeoren», se convierte en un bucle reforzador ascendente: «Cuanto más mejoren las cosas, más me esforzaré por mejorarlas aún más».

Si hubiera seguido esta máxima cuando empecé a hacer *footing*, ahora estaría corriendo maratones.

Escalada

> *«El domingo, militantes islámicos secuestraron a un soldado israelí y amenazaron con matarle a menos que el ejército liberara inmediatamente al fundador de una importante organización musulmana que se encontraba en prisión en la franja de Gaza. […] El secuestro […] ha desencadenado una intensa oleada de violencia, […] y ha dado lugar al asesinato de tres palestinos y un soldado israelí que […] recibió disparos desde un vehículo que se cruzó con él mientras patrullaba en un jeep. Por si fuera poco, la región de Gaza se ha visto sacudida por reiterados enfrentamientos entre manifestantes armados con piedras y tropas israelíes, que han respondido con munición real y balas de goma, dejando al menos 120 heridos».*
>
> CLYDE HABERMAN,
>
> *International Herald Tribune, 1992*[39]

Ya hemos visto antes un ejemplo de escalada: el sistema de los niños que se pelean. Tú me pegas, así que yo te devuelvo el golpe, un poco más fuerte; tú me das otra torta y, de pronto, empezamos a pelearnos en serio.

«Lo tuyo y uno más» es la regla de decisión que conduce a la escalada. La escalada es el resultado de un bucle reforzador que establecen dos actores rivales que intentan superarse mutuamente. El objetivo de una parte o de un actor del sistema no es absoluto, como la temperatura del termostato de una habitación que se fija a 18 ^{0}C, sino que está relacionado con otra parte del sistema, con otro actor. Como muchas de las demás trampas de los sistemas, la escalada no tiene por qué ser mala. Si se compite por un objetivo deseable, como el aumento de la eficiencia de un ordenador o un remedio contra el sida, puede hacer que el conjunto del sistema se acelere para alcanzarlo. Pero cuando se trata de una escalada de hostilidades, de armamento, de ruido o de irritación, es una trampa verdaderamente perniciosa. Los ejemplos más comunes y terribles son las carreras armamentísticas y esos lugares del planeta donde viven enemigos implacables que siempre se sitúan en el límite de una violencia que se refuerza mutuamente.

Cada actor basa su estado deseado en su percepción del estado del sistema ajeno. ¡Y lo aumenta! Los procesos de escalada no consisten únicamente en no ser menos que el vecino, sino en ser un poco más que el vecino. Estados Unidos y la Unión Soviética exageraron durante años sus informes sobre el armamento del enemigo con el fin de justificar la adquisición de armamento propio. Cuando uno de los dos bandos incrementaba su potencial armamentístico, el otro se afanaba por superarle. Aunque ambos se culpaban mutuamente de la escalada, sería más sistemático afirmar que cada bando seguía su propio proceso

de escalada: el desarrollo armamentístico de cada bando había activado un proceso que sin duda exigiría un mayor desarrollo armamentístico en el futuro. Este sistema provocó un gasto de billones de dólares, el deterioro de las economías de dos superpotencias y el desarrollo de armas cuya capacidad de destrucción era inimaginable hasta entonces y aún representan una amenaza para el mundo.

Otro ejemplo perverso de escalada es el de la campaña de difamación. Un candidato calumnia al otro, este le responde y así sucesivamente hasta que los votantes son incapaces de encontrar virtudes en sus candidatos y la totalidad del proceso democrático se degrada.

Luego están las guerras de precios: una empresa de la competencia rebaja el precio de un artículo, otra lo baja más aún y se enzarzan en una guerra hasta que las dos acaban perdiendo dinero, pero ninguna es capaz de recular. Este tipo de escalada puede llevar a la ruina a una de las empresas rivales.

Las compañías de publicidad ponen en marcha procesos de escalada en su intento por acaparar la atención de los consumidores. Una compañía da con una idea brillante, llamativa e impresionante. La competencia idea algo más llamativo, más impresionante, más atrevido. La primera compañía lo supera. La publicidad va invadiendo el entorno (correos electrónicos, llamadas telefónicas) y se vuelve más estridente, más ruidosa, más intrusiva, hasta que el consumidor se satura y es prácticamente imposible que el mensaje de un publicista cale.

El sistema de escalada también es el responsable del incremento del ruido de la conversación en una fiesta, del aumento de la longitud de las limusinas y de la indumentaria cada vez más escandalosa de las estrellas de rock.

También pueden producirse escaladas de paz, de civismo, de eficiencia, de sutileza, de calidad. Aunque este tipo de escaladas también pueden llegar a convertirse en un problema, porque es difícil frenarlas. Si todos los hospitales se esfuerzan por superar a la competencia y adquieren los aparatos de diagnóstico más novedosos, potentes y caros, los costes de la sanidad pueden llegar a dispararse. La escalada de la moralidad puede desembocar en una santurronería farisaica. La escalada en el arte puede llevar del barroco al rococó y al kitsch. La escalada de estilos de vida respetuosos con el medio ambiente puede conducir a un puritanismo rígido e innecesario.

La escalada, por su condición de bucle de retroalimentación reforzador, crece de manera exponencial. Por tanto, puede llevar la competencia hasta el límite más rápido de lo que nadie puede imaginar. Si no se hace nada para romper el bucle, el proceso suele terminar con la quiebra de uno o de ambos rivales.

Una manera de escapar de la trampa de la escalada es el desarme unilateral: la reducción deliberada del estado de nuestro propio sistema para inducir la reducción del estado del rival. Según la lógica de este sistema, esta opción es prácticamente impensable. Pero lo cierto es que puede funcionar, si se hace con determinación, y si se puede soportar la ventaja a corto plazo del competidor.

La única otra forma elegante de escapar del sistema de la escalada es negociar un desarme. Se trata de un cambio estructural, un ejercicio de diseño de sistemas. De este modo, se crea una nueva serie de bucles compensadores para que controlen la competencia y la mantengan dentro de unos límites (la presión de los padres para que los niños dejen de pegarse; regulaciones relacionadas con el tamaño y el posicionamiento de los anuncios; un ejército neutral encargado de salvaguardar la paz en una zona proclive a la violencia). En los sistemas de escalada no suele ser fácil alcanzar acuerdos de desarme, y las partes implicadas casi nunca los ven con buenos ojos, pero representan una solución mucho más conveniente que seguir adelante con la carrera.

La trampa: la escalada

Cuando el estado de una reserva viene determinado por el afán de sobrepasar el estado de otra reserva –y viceversa–, se activa un bucle de retroalimentación reforzador que conduce al sistema a una carrera armamentística, a una carrera por la sanidad, a una campaña de desprestigio, a una escalada de ruido, de violencia. Los procesos de escalada crecen de manera exponencial y pueden llegar hasta el límite a una velocidad sorprendente. Si no se pone ningún remedio, la espiral solo se detendrá con la destrucción de uno de los dos rivales: porque el crecimiento exponencial no puede durar eternamente.

La solución

La mejor manera de escapar de esta trampa es evitar caer en ella. Si nos vemos atrapados en un sistema de escalada, podemos negarnos a competir (el desarme unilateral), e interrumpir de esta manera el bucle reforzador. O podemos negociar la instauración de un nuevo sistema con bucles compensadores para controlar la escalada.

El éxito que atrae al éxito: la exclusión competitiva

«La gente extremadamente rica —la cúspide del 1% más rico de los contribuyentes— dispone de una flexibilidad considerable para exponer una menor cantidad de sus ingresos a tributación. […] Los que han podido se han apresurado a comprar bonos ahora, en lugar del esperar al año que viene (cuando se espera que suban los impuestos), a hacer efectivas sus acciones […] y a aplazar los ingresos de cualquier manera posible».

SYLVIA NASAR, *International Herald Tribune*, 1992[40]

Utilizar la riqueza, las ventajas, el acceso privilegiado o la información interna para crear más riqueza, más ventajas, para poder disponer de más información o acceder mejor a ella, son ejemplos del arquetipo llamado «el éxito que atrae al éxito». Esta trampa surge cada vez que los ganadores de una competición reciben, como parte de su recompensa, los medios para competir de una manera aún más

efectiva en el futuro. Se trata de un bucle de retroalimentación reforzador que divide rápidamente un sistema en ganadores que siguen ganando y perdedores que siguen perdiendo.

Cualquiera que haya jugado al Monopoly conoce a la perfección este sistema. Todos los jugadores empiezan en igualdad de condiciones. Los primeros que consiguen construir «hoteles» en sus propiedades pueden cobrar un «alquiler» a los demás jugadores y utilizar ese dinero para comprar más hoteles. Cuantos más hoteles acumulemos, más hoteles podremos comprar. El juego termina cuando un jugador consigue comprar todas las propiedades o los demás se aburren y abandonan, frustrados.

Una vez organizamos en nuestro barrio un concurso que premiaría con 100 dólares a la familia que decorara su jardín con las luces navideñas más impresionantes. La familia que ganó el primer año se gastó el dinero del premio en comprar más luces. Después de que esa familia ganara el concurso durante tres años consecutivos, con una decoración cada año más elaborada, se puso fin al concurso.

Al que tenga, se le dará. Cuantas más victorias acumule un ganador, mayor será su capacidad de ganar en el futuro. Si la victoria tiene lugar en un entorno limitado, de tal manera que obtenga la totalidad de sus ganancias de los perdedores, estos se arruinarán cada vez más, o serán expulsados a la fuerza, o morirán de inanición.

El éxito que atrae al éxito es un concepto muy conocido en el campo de la ecología, donde se conoce como «principio de exclusión competitiva». Según este principio, dos especies diferentes no pueden vivir en el mismo nicho ecológico y competir por los mismos recursos. Al tratarse de dos especies diferentes, una se reproducirá necesariamente más rápido o será capaz de explotar los recursos de manera más eficiente que la otra. Se apoderará de una parte mayor de los recursos, que le proporcionarán la capacidad de multiplicarse más y seguir ganando. No solo dominará el nicho, sino que además llevará al otro competidor a la extinción. Eso no suele suceder a través de la confrontación directa, sino mediante la apropiación de la totalidad de los recursos, sin dejar nada para el competidor más débil.

Otra versión de esta trampa la encontramos en la crítica del capitalismo de Karl Marx. Dos empresas que compiten por un mismo mercado se comportarán de la misma manera que dos especies que compiten por un mismo nicho. Una adquiere una ligera ventaja, gracias a una mayor eficiencia o a una inversión más inteligente o a un avance tecnológico más sofisticado o a su capacidad para sobornar, o lo que sea. Gracias a esa ventaja, la empresa dispone de un mayor volumen de ingresos para invertir en instalaciones más productivas o en tecnologías más novedosas o en publicidad o en sobornos. El bucle de retroalimentación reforzador que le permite acumular capital

puede funcionar más rápido que el de la otra y, por tanto, producir más y ganar más. En un mercado limitado, sin leyes antitrust que frenen su desarrollo, esa empresa se apoderará de la totalidad del mercado siempre que decida reinvertir en la ampliación de sus instalaciones de producción.

Hay quien piensa que el fracaso del sistema comunista en la Unión Soviética demuestra que las teorías de Karl Marx carecen de validez, pero este análisis particular —la idea de que la competencia en un mercado elimina sistemáticamente a los rivales— funciona en todos los mercados competitivos habidos y por haber. El bucle de retroalimentación reforzador del éxito que atrae al éxito ha favorecido que en Estados Unidos todas las compañías de automóviles hayan quedado reducidas a tres (y no han quedado reducidas a una gracias a las leyes antitrust). La mayoría de las ciudades importantes de Estados Unidos solo cuentan con un periódico. En todas las economías de mercado, la tendencia a largo plazo es la reducción del número de granjas y el incremento del tamaño de estas.

El mayor peligro de la trampa del éxito que atrae al éxito radica en las numerosas maneras en que contribuye a enriquecer a los ricos y a arruinar a los pobres. Los ricos no solo disponen de una mayor variedad de medios para evadir los impuestos, sino que, además:

- En la mayoría de las sociedades, los niños más pobres reciben la peor educación en las peores escuelas, en el caso de que consigan acceder a la educación. Al adquirir habilidades menos productivas, solo pueden desempeñar trabajos poco remunerados y perpetuar su pobreza.[41]
- La mayoría de los bancos no conceden créditos a las personas que poseen poco patrimonio y salarios bajos. Por tanto, no pueden invertir en mejoras de capital o tienen que acudir a un prestamista local que les cobra unos intereses desorbitados. Aun en el caso de que les cobren unos intereses razonables, los pobres los pagan y los ricos los cobran.
- La tierra está tan mal repartida en muchos lugares del mundo que la mayoría de los agricultores tienen que arrendar los campos a otra persona. Se ven obligados a destinar parte de los beneficios de su cosecha al arrendador por el privilegio de trabajarla, y de esa manera nunca pueden adquirir tierras propias. El terrateniente utiliza los ingresos que obtiene de los arrendatarios para comprar más tierras.

Estos son solo algunos de los procesos de retroalimentación que perpetúan la distribución desigual de los ingresos, el patrimonio, la educación y las oportunidades. Como los pobres solo pueden permitirse comprar pequeñas cantidades (de comida, de combustible, de semillas, de fertilizante), pagan precios más elevados. Como no

pueden organizarse y se encuentran dispersos, se destina a sus necesidades una parte desproporcionadamente pequeña del gasto público. Son los últimos en beneficiarse de las nuevas teorías y los avances tecnológicos. Los primeros en contraer enfermedades y en sufrir los efectos de la contaminación. Su única opción es aceptar trabajos de riesgo, mal remunerados; no pueden vacunar a sus hijos y viven en barrios atestados en los que el crimen y las catástrofes naturales tienen una mayor repercusión.

¿Qué podemos hacer para escapar de la trampa del éxito que atrae al éxito?

Algunas especies y compañías consiguen librarse de la exclusión competitiva a través de la *diversificación*. Una especie puede aprender o evolucionar para explotar nuevos recursos. Una compañía puede crear un nuevo producto o un nuevo servicio que no compita directamente con los que ya existen. Los mercados tienden al monopolio y los nichos ecológicos a la monotonía, pero también pueden dar lugar a ramificaciones diversificadoras, a nuevos mercados, a nuevas especies que con el paso del tiempo pueden atraer competidores que presionarán para que el sistema avance hacia la exclusión competitiva una vez más.

La diversificación no está garantizada, sin embargo, sobre todo si la empresa (o la especie) monopolizadora desarrolla la capacidad de aplastar a las nuevas ramificaciones, de absorberlas o de privarlas de los recursos que necesitan para seguir viviendo. La diversificación no es una estrategia eficaz para los pobres.

El bucle del éxito que atrae al éxito se puede mantener bajo control sustituyéndolo por bucles de retroalimentación que eviten que un competidor se apropie por completo de los recursos. En teoría, y a veces en la práctica, esa es la función de las leyes antitrust (sin embargo, uno de los recursos que las grandes compañías pueden obtener gracias a este bucle es la capacidad para dificultar la imposición de este tipo de leyes).

El procedimiento más inmediato para evitar el arquetipo del éxito que atrae al éxito es «nivelar el terreno de juego» periódicamente. Las sociedades tradicionales y las personas que se dedican a diseñar juegos introducen en sus sistemas métodos para que todos los jugadores disfruten de las mismas ventajas y el juego sea justo y no pierda interés. Cada vez que se empieza una nueva partida de Monopoly, todos los jugadores se encuentran de nuevo en pie de igualdad, de manera que el que ha perdido la última vez ahora tiene la oportunidad de ganar. En algunos deportes se compensa a los jugadores más débiles con hándicaps. Algunas sociedades tradicionales utilizan diferentes versiones del *potlatch* que practicaban los aborígenes norteamericanos, una ceremonia en la que los que más

tienen se desprenden de muchas de sus posesiones y se las entregan a los más desfavorecidos.

La trampa: el éxito que atrae al éxito

Si se recompensa sistemáticamente a los ganadores de una competición con los medios necesarios para que vuelvan a ganar, se crea un bucle de retroalimentación reforzador, que, si no se somete a ciertos controles, permitirá que, con el tiempo, los ganadores se apoderen de la totalidad de los recursos y los perdedores caigan eliminados.

La solución

La diversificación, que permite que los perdedores abandonen el juego y empiecen otra partida; limitaciones estrictas en relación con el trozo de la tarta que le corresponde al ganador (leyes antitrust); políticas destinadas a nivelar el terreno de juego: limitar las ventajas de los jugadores más fuertes o incrementar las de los más débiles; políticas que recompensen el éxito sin condicionar la siguiente ronda de la competición.

Existen muchas herramientas para romper el bucle que permite que los ricos se hagan cada vez más ricos y los pobres cada vez más pobres: leyes tributarias escritas (e inviolables) que gravan a los ricos con impuestos más elevados que a los pobres; caridad, subsidios; sindicatos; sanidad y educación universales; impuestos de sucesiones (una manera de empezar una nueva partida en igualdad de condiciones con cada nueva generación). La mayoría de las sociedades industriales utilizan diferentes combinaciones de mecanismos de control para regular el funcionamiento de la trampa del éxito que atrae al éxito y permitir que todo el mundo pueda participar en el juego. Las culturas basadas en la donación redistribuyen la riqueza por medio de *potlatchs* y otras ceremonias que incrementan el prestigio social del donador.

Estos mecanismos de equilibrio se basan, sencillamente, en la moralidad o en el conocimiento práctico de que los perdedores que se ven atrapados en el juego del éxito que atrae al éxito y no tienen la más mínima esperanza de ganar pueden frustrarse hasta tal punto que decidan destruir el terreno de juego.

Desplazamiento de la carga hacia la intervención: adicción

«Estamos atrapados en una increíble espiral descendente. Como se transfieren cada vez más costes al sector privado, el número de empleados asegurados en este sector es cada vez menor. En el momento actual […] 100 000 norteamericanos se quedan sin seguro sanitario todos los meses.

Un enorme porcentaje de ellos se acogen al subsidio público de Medicaid. Y como los estados son incapaces de controlar el déficit, recortan el gasto en educación, o en programas de protección de la infancia, o suben los impuestos, y no hay dinero para realizar otras inversiones».

BILL CLINTON, *International Herald Tribune*, 1992[42]

«Si quieres que un somalí se enfade de verdad, quítale el khat. […] El khat son las hojas y las ramitas más tiernas de una planta que responde al nombre científico de Catha edulis. […] Posee unos efectos farmacológicos similares a los de las anfetaminas. […]

Abdukadr Mahmoud Farah, un joven de 22 años, afirma que lleva mascando khat desde los 15 años. […] "Lo hago para no pensar en este lugar. Cuando lo masco, me siento feliz.

Me siento capaz de hacer cualquier cosa. No siento cansancio"».

KEITH B. RICHBURG, *International Herald Tribune*, 1992[43]

La mayoría de la gente conoce las propiedades adictivas del alcohol, de la nicotina, de la cafeína, del azúcar y de la heroína. Pero no todo el mundo sabe que la adicción puede aparecer en sistemas más globales y bajo las apariencias más diversas: la necesidad de subsidios gubernamentales de la industria, la adicción de los agricultores a los fertilizantes, la dependencia de petróleo barato de las economías occidentales o la dependencia de contratos del gobierno de los fabricantes de armas.

A esta trampa se la conoce por muchos nombres distintos: adicción, dependencia, desplazamiento de la carga hacia la intervención... Su estructura consiste en una reserva con flujos de entrada y flujos de salida. Puede tratarse de una reserva física (una cosecha de maíz) o *meta*-física (la sensación de bienestar o la autoestima). La reserva la mantiene un actor que regula un bucle de retroalimentación compensador, bien alterando los flujos de entrada o bien los de salida. El actor tiene un objetivo y lo compara con su percepción del estado real de la reserva para determinar qué acción debe emprender.

Imaginemos a un niño que vive en una tierra asolada por el hambre y la guerra, cuyo objetivo es aumentar su sensación de bienestar para sentirse feliz, fuerte y valiente. Existe una enorme discrepancia entre el estado real y el estado deseado y las opciones disponibles para reducir esa discrepancia son muy limitadas. Pero lo que sí puede hacer es consumir drogas. Las drogas no mejorarán en absoluto su situación real. En realidad, es probable que la empeoren. Pero alteran rápidamente su *percepción* o su estado, le embotan los sentidos y le transmiten una sensación de valentía e invulnerabilidad.

Del mismo modo, el director de una compañía poco productiva que consigue un subsidio del gobierno podrá seguir haciendo dinero y obteniendo beneficios y, por tanto, conservará su prestigio social. Un agricultor que intenta aumentar su cosecha en una tierra sobreexplotada recurre a los fertilizantes y obtiene una cosecha excelente sin hacer nada por mejorar la fertilidad del suelo.

El problema es que los estados creados mediante intervención son efímeros. La borrachera se pasa. Los subsidios se gastan. El fertilizante se consume o pierde sus efectos por culpa de la lluvia.

He aquí algunos ejemplos de sistemas basados en la dependencia y en el desplazamiento de la carga:

→ Antiguamente, el cuidado de los ancianos recaía sobre sus propias familias, y no siempre era una tarea fácil. Por eso se inventaron la seguridad social, las comunidades de retiro, las residencias de ancianos. Ahora, la mayoría de las familias no tiene espacio, ni tiempo ni habilidad ni voluntad para cuidar de

sus mayores.

⟶ Los viajes de larga distancia se hacían en tren y los de cercanías en metro o en tranvía, hasta que los gobiernos decidieron construir autopistas.

⟶ Los niños eran capaces de realizar operaciones aritméticas mentales o escritas hasta que se extendió el uso de las calculadoras.

⟶ Las poblaciones desarrollaron una inmunidad parcial a enfermedades como la viruela, la tuberculosis y la malaria, hasta que se inventaron las vacunas y los medicamentos.

⟶ La medicina moderna ha desplazado la carga de la salud a los médicos y a los medicamentos y ya no depende de las prácticas ni del estilo de vida de los individuos.

Desplazar la carga hacia la intervención puede ser muy beneficioso. Se suele hacer deliberadamente y puede dar lugar a un incremento de la capacidad para que el sistema se mantenga en el estado deseado. Es indudable que la protección total que ofrecen las vacunas de la viruela, si persiste, es preferible a la protección parcial de la inmunidad natural a esta enfermedad. ¡Hay algunos sistemas que requieren intervención!

Pero la intervención puede convertirse en una trampa. El proceso de retroalimentación corrector no consigue mantener el estado del sistema (o lo logra a duras penas). Un interventor bien intencionado y eficiente detecta el problema y decide intervenir para asumir parte de la carga. Rápidamente, el interventor consigue que el sistema entre en un estado que conviene a todos los actores. Se suceden las felicitaciones, por lo general, las que se dedica a sí mismo el propio interventor.

Y entonces el problema original vuelve a aparecer, pues no se ha hecho nada para solucionarlo de raíz. De manera que el interventor vuelve a aplicar una nueva dosis de esta «solución», disimulando otra vez el estado real del sistema y, por tanto, no actúa sobre el problema. Por eso necesita una mayor dosis de «solución».

La trampa se pone en marcha cuando la intervención, ya sea a través de la destrucción activa o de un simple descuido, socava la capacidad original del sistema para mantenerse de manera autónoma. Si esa capacidad se atrofia, entonces se necesita una intervención mayor para alcanzar el efecto deseado. Eso debilita aún más la capacidad del sistema original. El interventor vuelve a apagar el incendio. Y así sucesivamente.

¿Por qué caemos en la trampa? En primer lugar, puede darse el caso de que el interventor no sepa prever que el impulso inicial de echar una mano puede poner en marcha una cadena de acontecimientos que dará lugar a una dependencia cada vez mayor, lo que en última

instancia mermará la capacidad del interventor. El sistema de sanidad norteamericano está experimentando las consecuencias de esa secuencia de acontecimientos.

En segundo lugar, puede suceder que el individuo o la comunidad que reciben la ayuda no piensen en la pérdida de control y en el incremento de vulnerabilidad a largo plazo que lleva aparejada la oportunidad de trasladar la responsabilidad a un interventor capaz y poderoso.

Si la intervención es una droga, nos volvemos adictos. Cuanto más nos dejamos arrastrar por una acción adictiva, más nos vuelve a arrastrar. En Alcohólicos Anónimos definen la adicción como la repetición reiterada del mismo comportamiento estúpido esperando, por alguna misteriosa razón, resultados diferentes.

La adicción consiste en encontrar una solución rápida y defectuosa para hacer desaparecer el *síntoma* del problema que nos distrae o nos impide acometer la tarea más difícil y duradera: solucionar el verdadero problema. Las políticas adictivas son perniciosas, porque son muy fáciles de vender y todo el mundo se las cree.

¿Que los insectos amenazan la cosecha? En lugar de examinar los procedimientos agrícolas, los monocultivos, la destrucción de los mecanismos de control naturales de los ecosistemas que han desembocado en la aparición de la plaga, nos limitamos a fumigar pesticidas. De esa manera, los bichos desaparecerán y podremos seguir practicando el monocultivo, destruyendo los ecosistemas. Y eso generará nuevos y mayores rebrotes de la plaga, que habrá que combatir con más pesticidas.

¿Que sube el precio del petróleo? En lugar de reconocer el inevitable agotamiento de un recurso no renovable e incrementar la eficiencia del combustible o pasarse a otros combustibles, podemos *fijar el precio* (esta fue la primera reacción de la Unión Soviética y de Estados Unidos a la crisis del petróleo de los años setenta). De esa manera podemos fingir que no pasa nada y seguir consumiendo petróleo: y conseguir que el problema del agotamiento se agrave aún más. Cuando esa política fracase, podemos iniciar una guerra por el petróleo. O encontrar más petróleo. Como los borrachos que ponen la casa patas arriba con la esperanza de encontrar una última botella, podemos contaminar las playas e invadir las últimas tierras vírgenes del planeta en busca de una última reserva de petróleo.

Librarse de una adicción es doloroso. Podemos sufrir el dolor físico de desengancharse de la heroína, o el dolor económico de una subida de precio destinada a la reducción del consumo de petróleo, o las consecuencias de la proliferación de una plaga mientras se recupera la población de depredadores naturales. Para desengancharse hay que enfrentarse por fin con el estado real del sistema (por lo general muy

deteriorado) y tomar las medidas que la adicción permitía postergar. A veces se puede dejar de forma gradual. A veces se puede imponer antes una política no adictiva destinada a recuperar el sistema degradado minimizando el trauma (un grupo de terapia que ayude al adicto a recuperar la autoestima; el aislamiento de las viviendas y la sustitución de los coches de alto kilometraje para reducir el gasto de combustible; el policultivo y la rotación de cosechas para reducir la vulnerabilidad a las plagas). A veces la única salida es pasar el mono y soportar el dolor.

Merece la pena renunciar a la adicción para volver al estado anterior, pero es mucho mejor evitar caer en la adicción en un principio.

La trampa: el desplazamiento de la carga hacia la intervención

El desplazamiento de la carga, la dependencia y la adicción surgen cuando una solución al problema de un sistema reduce (o disimula) los síntomas, pero no hace nada para solucionar el problema subyacente. Tanto en el caso de una sustancia que suaviza la percepción como en el de una política que oculta el problema subyacente, la droga elegida entorpece las acciones que podrían solucionar el verdadero problema.

Si la intervención concebida para corregir el problema consigue atrofiar o erosionar la capacidad del sistema original para mantenerse de manera autónoma, se pondrá en marcha un bucle de retroalimentación reforzador. El sistema se deteriora; se precisa entonces una dosis cada vez mayor de la solución. El sistema cada vez depende más de la intervención y reduce su capacidad para mantener su estado deseado de manera autónoma.

La solución

Una vez más, la mejor solución para escapar de esta trampa es evitar caer en ella. Cuidado con las políticas que alivian los síntomas o niegan la realidad y con las prácticas que no abordan los verdaderos problemas. Es mejor dejar de prestar atención al placer a corto plazo y poner el énfasis en la reestructuración a largo plazo.

El problema se puede evitar por adelantado con una intervención que *refuerce la capacidad del sistema para cargar con su propia responsabilidad*. Esta opción, ayudar al sistema a ayudarse a sí mismo, puede ser mucho más barata y sencilla que apropiarse del sistema y dirigirlo: una medida que los políticos liberales no parecen entender. El secreto consiste en comenzar planteando una serie de preguntas, en lugar de llevar a cabo una conquista heroica.

⟶ ¿Por qué fallan los mecanismos de corrección naturales?

⟶ ¿Cómo se pueden eliminar los obstáculos que impiden que tenga éxito?

⟶ ¿Cómo se pueden hacer más efectivos los mecanismos para que tenga éxito?

El interventor debería esforzarse por restaurar o perfeccionar la capacidad del sistema para solucionar sus propios problemas de manera autónoma, y después desaparecer.

El adicto, reconstruir la capacidad de su propio sistema antes de

renunciar a la intervención. Y hacerlo sin pensárselo dos veces. Cuanto más se demore, más le costará desengancharse.

Evitación de las reglas

«CALVIN: Mira, Hobbes, tengo un plan.
HOBBES: ¿Sí?
CALVIN: Si hago diez cosas buenas al día, sin que nadie me obligue, de aquí a Navidad, Papá Noel no tendrá en cuenta cómo me he portado el resto del año. Siempre puedo decir que he decidido pasar página.
HOBBES: Vale, aquí tienes tu primera oportunidad. Por ahí viene Susie.
CALVIN: Bueno, casi mejor empiezo mañana y hago veinte al día».

International Herald Tribune, 1992[44]

Siempre que se establecen unas reglas, existe la posibilidad de evitarlas. La evitación de las reglas consiste en realizar alguna maniobra evasiva para esquivar el propósito de las reglas de un sistema: ajustarse a la letra de la ley, pero no al espíritu. La evitación de las reglas solo se convierte en un problema cuando se provocan grandes distorsiones en el sistema, conductas artificiales que no tendrían ningún sentido en ausencia de reglas. Si se nos va de las manos, los sistemas pueden acabar generando comportamientos realmente dañinos.

La evitación de las reglas que distorsiona la naturaleza, un sistema económico, una organización o el espíritu humano puede ser muy destructiva. He aquí algunos ejemplos más o menos graves:

- Los distintos departamentos de los gobiernos, de las universidades y de las corporaciones a veces empiezan a gastar sin sentido al final del año fiscal solo para agotar el dinero, porque si no se gastan la totalidad del presupuesto anual, al año siguiente recibirán una asignación menor.
- En los años setenta el estado de Vermont adoptó una ley de explotación del suelo, la ley 250, que exigía un complejo procedimiento de aprobación para subdividir un terreno en parcelas de menos de cuatro hectáreas. Ahora Vermont cuenta con una extraordinaria cantidad de parcelas de un poco más de cuatro hectáreas.
- Para reducir las importaciones de grano y ayudar a los agricultores locales, en los años sesenta los países europeos decidieron imponer restricciones a la importación de cereal para pienso. Los responsables de la redacción de este proyecto no incluyeron la yuca, una raíz rica en almidón ideal para alimentar al ganado, entre las restricciones. Así que las importaciones de maíz norteamericano fueron sustituidas por las importaciones de yuca asiática.[45]
- La Ley de Especies Amenazadas de Estados Unidos limita el desarrollo urbanístico en las zonas donde tienen su hábitat las

especies amenazadas. Algunos terratenientes, al descubrir que en sus propiedades habita una especie en peligro de extinción, no dudan en cazar o envenenar a los animales deliberadamente para poder construir en esos terrenos.

Obsérvese que cuando se pone en marcha este procedimiento, las leyes se cumplen *aparentemente*. Los conductores respetan los límites de velocidad cuando pasa un coche de policía. Europa ya no importa grano para pienso. En los lugares habitados por especies protegidas no se construye. Se respeta la «letra de la ley», pero no el espíritu. Por eso conviene diseñar las leyes pensando en el conjunto del sistema, contemplando las posibles maniobras evasivas que el propio sistema puede generar.

La evitación de las reglas suele ser una respuesta de los estratos inferiores de una jerarquía a la imposición desde arriba de unas leyes demasiado rígidas, nocivas, inviables o mal definidas. Existen dos respuestas genéricas a la evitación de las leyes. Una consiste en fortalecer las reglas o su imposición para intentar erradicar la respuesta espontánea, lo cual suele dar lugar a una distorsión del sistema aún mayor. Esa es la manera de adentrarse aún más en la trampa.

La trampa: evitación de las reglas

Las reglas que gobiernan un sistema pueden dar lugar a la evitación de las propias reglas: un comportamiento perverso en el que aparentemente se obedecen las reglas o se alcanzan los objetivos, cuando lo que sucede en realidad es que se distorsiona el sistema.

La solución

Diseñar o rediseñar reglas que animen a los actores a dedicar su creatividad a la consecución del propósito para el cual se concibieron las reglas, no a su evitación.

La manera de escapar de la trampa, la oportunidad, consiste en considerar que la evitación de las leyes es un proceso de retroalimentación que se puede aprovechar y revisar las reglas, mejorarlas, anularlas o explicarlas más a fondo. Es necesario redefinir las reglas previendo en la medida de lo posible los efectos de las reglas sobre los subsistemas y contemplar cualquier forma de evitación en que se puedan incurrir, así como estructurar las reglas de tal manera que las capacidades espontáneas del sistema se puedan orientar en una dirección positiva.

La persecución del objetivo equivocado

«El gobierno reconoció oficialmente el viernes lo que los economistas privados llevan advirtiendo desde hace meses: Japón no se va a acercar al 3,5% de las previsiones de crecimiento que los planificadores del gobierno se fijaron el año pasado. […]

En 1991 el PNB creció un 3,5% y en 1990, un 5,5%. Desde el comienzo de este año fiscal […] la economía se ha estancado o se ha contraído. […]

Ahora que la previsión […] se ha rebajado abruptamente, es probable que aumente la

presión de los políticos y los empresarios para que el Ministerio de Economía tome medidas de estímulo».

International Herald Tribune, 1992[46]

Anteriormente, en el capítulo 1, vimos que una de las maneras más eficaces de influir en el comportamiento de un sistema era intervenir en su propósito u objetivo. Esto se debe a que el objetivo determina la dirección del sistema, define las discrepancias que requieren acciones y es un indicador de la conformidad, el fracaso o el éxito que persiguen los bucles de retroalimentación. Si el objetivo no se define correctamente, si no mide lo que se supone que tiene que medir, si no refleja el bienestar real del sistema, entonces no es posible que el sistema produzca un resultado deseable. Los sistemas, al igual que los tres deseos de los cuentos, muestran una terrible tendencia a producir única y exclusivamente lo que les pedimos que produzcan. Cuidado con lo que les pides.

Si el estado deseado del sistema es la seguridad nacional, y esta se define como la cantidad de dinero que se invierte en defensa, el sistema producirá gasto militar. Puede producir seguridad nacional, pero también puede no hacerlo. De hecho, cabe la posibilidad de que la seguridad se vea perjudicada si el gasto afecta a la inversión en otras áreas de la economía y si el gasto se destina a la adquisición de un armamento costoso, innecesario o inoperante.

Si el estado deseado del sistema es una educación de calidad, y medimos ese objetivo en virtud de la cantidad de dinero que se gasta por estudiante, lo que conseguiremos es gastar una cantidad de dinero por estudiante. Si la calidad de la educación se mide por el rendimiento en unos exámenes estándar, el sistema producirá rendimiento en los exámenes estándar. La correlación entre cualquiera de estas dos medidas y la educación de calidad es una cuestión que, como mínimo, debe ser objeto de reflexión.

Cuando se pusieron en marcha los primeros planes de planificación familiar en la India, los objetivos de los programas se definían en virtud de la cantidad de DIU que se implantaban. Así, los médicos, en su afán por cumplir con sus objetivos, colocaban a las pacientes estos métodos anticonceptivos sin su consentimiento.

En todos estos ejemplos se confunde el esfuerzo con el resultado, uno de los errores más comunes cuando se diseñan sistemas en torno a un objetivo equivocado. Quizá el peor error de este tipo ha sido la adopción del PNB como medida del éxito económico de una nación. El PNB es el producto nacional bruto, el valor monetario de los bienes y los servicios finales que produce una economía. Como medida del bienestar humano, ha sido criticado prácticamente desde el momento en que se inventó:

> El producto nacional bruto no tiene en cuenta la salud de nuestros hijos, ni la calidad de su educación, ni lo que se divierten cuando juegan. No contempla la belleza de nuestra

> poesía, ni la estabilidad de nuestros matrimonios, ni la inteligencia de nuestros debates públicos, ni la integridad de nuestros funcionarios. No mide nuestro ingenio ni nuestra valentía, ni nuestra sabiduría, ni lo que hemos podido aprender, ni nuestra compasión ni la devoción que le profesamos a nuestro país. En una palabra, mide todo menos lo que hace que merezca la pena vivir.[47]
>
> Tenemos un sistema de contabilidad nacional que no se parece en nada a la economía nacional, pues no registra nuestra vida doméstica, sino la fiebre de nuestro consumo.[48]

El PNB mete en un mismo saco lo bueno y lo malo (si se producen más accidentes de tráfico que generan un mayor gasto en médicos y reparaciones, el PNB sube). Solo contabiliza los bienes y los servicios que se comercializan (si todos los padres contrataran a alguien para cuidar a sus hijos, el PNB subiría). No refleja la equidad de la distribución (si un rico se compra una segunda vivienda muy cara, el PNB sube más que si una familia pobre se compra una primera vivienda barata). Mide más el esfuerzo que el logro, la producción bruta y el consumo más que la eficiencia. Las bombillas nuevas que dan la misma luz con un gasto de electricidad ocho veces menor y duran diez veces más hacen que el PNB descienda.

El PNB mide el *transflujo* —los flujos de cosas que se fabrican y se consumen en un año— más que las reservas de capital, las viviendas y los coches y los ordenadores y los equipos de música, que son la fuente del verdadero bienestar y del verdadero placer. Se podría decir que la mejor sociedad sería aquella en la que las reservas de capital se pueden mantener y utilizar con el menor transflujo posible, no con el mayor.

Aunque está totalmente justificado aspirar a la prosperidad económica, no existe ninguna razón particular para desear que suba el PNB. Pero los gobiernos de todo el mundo reaccionan a cualquier señal de disminución del PNB y adoptan numerosas medidas para impulsar su crecimiento. Muchas de esas acciones son sencillamente un despilfarro, pues estimulan la producción ineficiente de artículos que nadie quiere. Algunas de esas medidas, como la sobreexplotación de los bosques para estimular la economía a corto plazo, representan una amenaza al bienestar a largo plazo de la economía o de la sociedad o del medio ambiente.

Si definimos que el PNB es el objetivo de una sociedad, esa sociedad hará todo lo posible por producir PNB. No producirá bienestar, ni igualdad, ni justicia, ni eficiencia a menos que definamos como objetivo y evaluemos regularmente el estado del bienestar, de la igualdad, de la justicia o de la eficiencia e informemos periódicamente de él. El mundo sería un lugar diferente si en lugar de competir por obtener el PNB per cápita más elevado, las naciones compitieran por acumular las reservas de bienestar más elevadas con el menor transflujo, o la tasa de mortalidad infantil más reducida, o la mayor

libertad política, o el medio ambiente menos contaminado, o la menor desigualdad entre los pobres y los ricos.

La trampa: la persecución del objetivo equivocado

El comportamiento de los sistemas es especialmente sensible a los objetivos de los bucles de retroalimentación. Si los objetivos —que indican el cumplimiento de las reglas — se definen de manera imprecisa o incompleta, puede suceder que el sistema funcione obedientemente para generar un resultado que en realidad no se pretendía ni se deseaba.

La solución

Especificar indicadores y objetivos que reflejen el bienestar real del sistema. Prestar una atención especial para no confundir el esfuerzo con el resultado, o el sistema acabará produciendo esfuerzo, no resultados.

Perseguir el objetivo equivocado, cumplir con el indicador equivocado, es una característica sistémica casi opuesta a la evitación de las reglas. En la evitación de las reglas, el sistema se despliega para sortear una regla impopular o imperfecta, aunque parezca que la obedece. Cuando se persigue el objetivo equivocado, el sistema cumple obedientemente la regla y produce el resultado específico de la regla, que no tiene por qué ser lo que alguien desea en realidad. El problema de los objetivos equivocados surge cuando uno se da cuenta de que está sucediendo algo estúpido «porque lo dice la regla». Estas dos perversiones de los sistemas pueden suceder al mismo tiempo en relación con la misma regla.

* * *

Interludio. Los objetivos del diseño de veleros

Hace mucho, mucho tiempo, la gente no competía en regatas de veleros para ganar millones de dólares ni para defender los colores de su nación, sino por simple diversión.

Competían con los barcos que utilizaban para otros propósitos más normales, barcos construidos para pescar, para transportar mercancías o para navegar los fines de semana.

No tardaron en darse cuenta de que las carreras ganaban interés si todos los barcos se encontraban en pie de igualdad en cuanto a velocidad y maniobrabilidad. Así que se desarrollaron una serie de reglas para definir distintos tipos de barco según la eslora, la superficie de vela y otra serie de parámetros, de manera que solo pudieran competir entre sí los rivales de una misma categoría.

Entonces cambiaron los criterios de construcción de barcos, que ya no se diseñaban para navegar normalmente, sino para ganar carreras dentro de las categorías definidas por las reglas. Se aprovechaba cada centímetro cuadrado de vela para dotar a los barcos de mayor velocidad y se diseñaban timones lo más ligeros posibles respetando el

tamaño estándar. Estos barcos extrañísimos y difíciles de pilotar no eran ni por asomo el tipo de barco en el que saldríamos a pescar o a navegar un domingo. A medida que las regatas se volvieron más serias, las reglas se hicieron más estrictas y los diseños de los barcos más extravagantes.

Ahora los veleros de regata son extremadamente rápidos y ligeros, y resulta prácticamente imposible navegar con ellos. Solo los puede pilotar una tripulación atlética y experta. A nadie se le ocurriría utilizar un velero de la Copa América para cualquier otra cosa que no sea competir en una regata. Los barcos han alcanzado tal grado de optimización de acuerdo con las reglas actuales que han perdido toda su resiliencia. La más mínima alteración de las reglas les haría perder toda utilidad.

[32] Citado en una entrevista de Barry James, «Voltaire's Legacy: The Cult of the Systems Man», *International Herald Tribune*, 16 de diciembre de 1992, p. 24.

[33] John H. Cushman, Jr., «From Clinton, a Flyer on Corporate Jets?», *International Herald Tribune*, 15 de diciembre de 1992, p. 11.

[34] Banco Mundial, *World Development Report 1984*, Nueva York, Oxford University Press, 1984, p. 157; Petre Muresan e Ioan M. Copil, «Romania», en B. Berelson, ed., *Population Policy in Developed Countries*, Nueva York, McGraw-Hill Book Company, 1974, pp. 355-384.

[35] Alva Myrdal, *Nation and Family*, Cambridge, Massachusetts, MIT Press, 1968. Edición original publicada en Nueva York: Harper & Brothers, 1941.

[36] «Germans Lose Ground on Asylum Pact», *International Herald Tribune*, 15 de diciembre de 1992, p. 5.

[37] Garrett Hardin, «The Tragedy of the Commons», *Science* 162, núm. 3.859 (13 de diciembre de 1968), pp. 1.243-1.248.

[38] Erik Ipsen, «Britain on the Skids: A Malaise at the Top», *International Herald Tribune*, 15 de diciembre de 1992, p. 1.

[39] Clyde Haberman, «Israeli Soldier Kidnapped by Islamic Extremists», *International Herald Tribune*, 14 de diciembre de 1992, p. 1.

[40] Sylvia Nasar, «Clinton Tax Plan Meets Math», *International Herald Tribune*, 14 de diciembre de 1992, p. 15.

[41] Véase Jonathan Kozol, *Savage Inequalities: Children in America's Schools*, Nueva York, Crown Publishers, 1991.

[42] Se cita en Thomas L. Friedman, «Bill Clinton Live: Not Just a Talk Show», *International Herald Tribune*, 16 de diciembre de 1992, p. 6

[43] Keith B. Richburg, «Addiction, Somali-Style, Worries Marines», *International Herald Tribune*, 15 de diciembre de 1992, p. 2.

[44] Tira cómica de *Calvin y Hobbes*, *International Herald Tribune*, 18 de diciembre de 1992, p. 22.

[45] Wouter Tims, «Food, Agriculture, and Systems Analysis», *Options*, International Institute of Applied Systems Analysis Laxenburg, Austria, núm. 2 (1984), p. 16.

[46] «Tokyo Cuts Outlook on Growth to 1.6%», *International Herald Tribune*, 19-20 de diciembre de 1992, p. 11.

[47] Discurso de Robert F. Kennedy, Universidad de Kansas, Lawrence, Kansas, 18 de marzo de 1968. Disponible en la Biblioteca On-line JFK, http://www.jfklibrary. org/Historical + Resources/Archives/Reference + Desk/Speeches/RFK/ RFKSpeech68Mar18UKansas.htm. consultada el 6/11/08.

[48] Wendell Berry, *Home Economics*, San Francisco, North Point Press, 1987, p. 133.

PARTE III

PROVOCAR CAMBIOS. EN LOS SISTEMAS Y EN NUESTRA FILOSOFÍA

06

Puntos de influencia. Dónde intervenir en un sistema

«IBM […] ha anunciado una reducción de plantilla de 25 000 trabajadores y recortes en las inversiones en investigación. […] La inversión en investigación y desarrollo va a reducirse en mil millones de dólares el año que viene. […] El presidente John K. Akers […] ha declarado que IBM sigue siendo una empresa líder en investigación a escala internacional e industrial, pero cree que es preferible "trasladarse a otras áreas de crecimiento", es decir, al sector servicios, que exige una inversión de capital menor pero también genera menos beneficios a largo plazo».

LAWRENCE MALKIN, *International Herald Tribune*, 1992[49]

¿Qué podemos hacer, por tanto, para cambiar la estructura de los sistemas y conseguir que produzcan más de lo que queremos y menos de lo que no queremos? Después de colaborar durante años con empresas para intentar resolver sus problemas sistémicos, Jay Forrester, del MIT, piensa que, por lo general, los directores de las compañías son capaces de definir correctamente los problemas, identificar la estructura sistémica que los genera y localizar con gran precisión los puntos de influencia: los lugares del sistema donde una pequeña variación puede producir un enorme cambio de comportamiento.

La idea de los puntos de influencia no es exclusiva del análisis de sistemas: se encuentra profundamente arraigada en la tradición. Basta pensar en la bala de plata, en la aleta compensadora, en la cura milagrosa, en el pasadizo secreto, en la palabra mágica, en el héroe solitario que cambia el rumbo de la historia, en los procedimientos que nos permiten salvar grandes obstáculos prácticamente sin esfuerzo. No nos limitamos a creer en la existencia de puntos de influencia, sino que queremos averiguar dónde se encuentran y echar mano de ellos. Los puntos de influencia son fuentes de poder.

Pero, según argumenta Forrester, aunque la gente profundamente involucrada en un sistema es capaz de encontrar intuitivamente los puntos de influencia, la mayoría de las veces impulsan el cambio en la *dirección equivocada*.

Un buen ejemplo de este tipo de intuición contraproducente es el de mi primer contacto personal con el análisis de sistemas, el modelo del Mundo. Cuando el Club de Roma —una asociación de empresarios, estadistas y científicos— le pidió a Forrester que estudiara las relaciones entre los graves problemas globales de la pobreza y el hambre, la destrucción del medio ambiente, el agotamiento de los recursos, el deterioro urbano y el desempleo, y propusiera algunas soluciones, él diseñó un modelo informático y dio con un punto de influencia evidente: el crecimiento.[50] No solo el crecimiento

demográfico, sino el crecimiento económico. El crecimiento tiene costes y beneficios y, por lo general, solemos pasar por alto los costes: la pobreza y el hambre, la destrucción del medio ambiente… ¡Precisamente los mismos problemas que intentamos resolver con el crecimiento! Lo que se necesita es un crecimiento mucho más lento, una diversificación del crecimiento y, en algunos casos, un crecimiento nulo o negativo.

Los líderes mundiales están obsesionados con el crecimiento económico, pues consideran que es la respuesta a casi todos los problemas, y están en lo cierto. Pero *empujan con todas sus fuerzas en la dirección equivocada*.

Otro estudio clásico de Forrester es el trabajo sobre la dinámica urbana que publicó en 1969. En él demostraba que las viviendas subvencionadas para familias con ingresos reducidos representan un punto de influencia.[51] A menor construcción de este tipo de viviendas, *mejor* calidad de vida para la ciudad, incluso para las personas con menos ingresos. Este modelo surgió en un momento en que los políticos abogaban por la construcción a gran escala de viviendas subvencionadas, y todo el mundo se burló de Forrester. Con el tiempo, muchas de esas viviendas han sido demolidas en numerosas ciudades.

Forrester afirma que los sistemas complejos son «contraintuitivos». Los puntos de influencia no suelen ser intuitivos. O, si lo son, con demasiada frecuencia los utilizamos al revés, de manera que los problemas que intentamos solucionar se agravan sistemáticamente.

Aún no he sido capaz de idear una fórmula rápida o sencilla para localizar puntos de influencia en los sistemas complejos y dinámicos. Pero si me dais unos cuantos meses o unos años, daré con ella. Por otra parte, mi amarga experiencia me ha demostrado que, como son tan contrarios a la intuición, cada vez que descubro los puntos de influencia de un sistema, casi nadie me cree. Resulta muy frustrante, sobre todo para los que no solo aspiramos a entender los sistemas complejos, sino también a conseguir que el mundo funcione mejor.

En uno de esos momentos de frustración, en una reunión sobre las consecuencias de los regímenes de comercio global, se me ocurrió proponer una lista de puntos donde se puede intervenir en un sistema. Os ofrezco esta lista con la máxima humildad, y soy consciente de que posee cierto margen de desarrollo. Es el resultado de décadas de análisis rigurosos de diferentes tipos de sistemas realizados por gente verdaderamente inteligente. Pero los sistemas complejos son… complejos, y es peligroso generalizar cuando trabajamos con ellos. Lo que vais a leer es una lista provisional, un trabajo inacabado; no es una receta para encontrar puntos de influencia. Se trata más bien de una invitación a abrir la mente en relación con los cambios de los

sistemas.

A medida que los sistemas adquieren complejidad, su comportamiento puede depararnos cada vez más sorpresas. Pensemos en nuestra propia cuenta corriente. Extendemos cheques e ingresamos dinero. En la cuenta se va acumulando algo de dinero gracias al flujo de entrada de los intereses (siempre que dispongamos de un saldo suficiente) y, gracias al flujo de salida de las comisiones bancarias, que el banco nos cobra aunque la cuenta esté vacía, vamos acumulando una deuda. Si ahora relacionamos nuestra cuenta con otras mil y dejamos que el banco cree préstamos en función de la combinación y la fluctuación de nuestros depósitos y conectamos un millar de esos bancos con el sistema de la reserva federal, empezaremos a comprender cómo una serie de sencillas reservas y flujos, conectados entre sí, pueden generar sistemas tan complicados, con una dinámica tan compleja, que es imposible entenderlos inmediatamente.

Por eso los puntos de influencia no son intuitivos. Dicho esto, dejemos la teoría de sistemas y empecemos con la lista.

12. Números: constantes y parámetros como los subsidios, los impuestos, los niveles

Pensemos en el sistema básico de la bañera con una reserva y dos flujos que vimos en el primer capítulo. El tamaño de los flujos es una cuestión de números y de lo rápido que se pueden alterar. Si el grifo está muy duro, tardaremos un rato en conseguir que el agua empiece a fluir o en cerrarlo. Si el desagüe se atasca, el flujo de salida experimentará un gran descenso, aunque quitemos el tapón del todo. Puede darse el caso de que el agua salga del grifo con mucha presión, como si fuera una manguera de bomberos. Algunos de estos parámetros se encuentran bloqueados físicamente y es imposible cambiarlos, pero otros muchos se pueden alterar y por eso se utilizan con frecuencia como puntos de intervención.

Pensemos en la deuda nacional. Puede parecer una reserva extraña; es como un agujero que se traga el dinero. El ritmo de crecimiento del agujero se denomina déficit anual. Los ingresos de los impuestos ayudan a reducir el agujero, el gasto público lo agranda. El congreso y el presidente dedican la mayor parte de su tiempo a discutir sobre los numerosísimos parámetros que contribuyen a aumentar (el gasto) y a disminuir (impuestos) el tamaño o la profundidad del agujero. Dado que estos flujos están conectados con nosotros, los votantes, estos parámetros poseen una carga política. Pero, a pesar de la pirotecnia política y al margen del partido que gobierne, el agujero lleva años creciendo, y lo único que varía es el ritmo.

Para regular la contaminación del aire que respiramos, el gobierno establece una serie de parámetros que se denominan niveles de la

calidad del aire ambiental. Para garantizar cierta reserva de bosque (o un flujo de dinero para las compañías madereras), establece un máximo anual de tala. Las corporaciones regulan parámetros como las tasas salariales y los precios de los productos para controlar el nivel de su bañera de beneficios: el balance final.

La cantidad de tierra que dejamos en barbecho todos los años. El salario mínimo. El dinero que invertimos en investigación para luchar contra el sida o en bombarderos Stealth. La cantidad que el banco nos retira de la cuenta en concepto de servicios. Todos son parámetros, grifos que se regulan. También lo son, por cierto, los despidos y las contrataciones, incluidas las de los políticos. Si cambiamos al responsable de la gestión de los grifos, es posible que cambie la velocidad a la que se abren o se cierran los grifos, pero si seguimos utilizando los mismos grifos, el mismo sistema de tuberías, y el funcionamiento depende de la misma información, de los mismos objetivos y de las mismas reglas de siempre, el comportamiento del sistema no cambiará demasiado. Está claro que votar a Bill Clinton es completamente distinto que votar a George Bush padre, pero no tan diferente como creemos, pues todos los presidentes están conectados al mismo sistema político (alterar los flujos monetarios de ese sistema tendría un efecto mucho más acusado, pero me estoy adelantando; mejor ceñirme al orden de esta lista).

Los números, el volumen de los flujos, ocupan el último lugar en mi lista de intervenciones determinantes. Es como entretenerse con los detalles y pasar por alto lo importante; como ponerse a ordenar las sillas de la cubierta del Titanic. Probablemente, dedicamos el 90% —perdón, el 95%, no, el 99%— de nuestra atención a los parámetros, pero no constituyen una de las variables de cambio más potentes.

No es que los parámetros no sean importantes: pueden llegar a serlo, sobre todo a corto plazo y para el individuo afectado directamente por un flujo determinado. A la gente le preocupan muchísimo los impuestos y el salario mínimo, por ejemplo, y por eso luchan a muerte por estas variables. Pero cambiarlas *rara vez altera el comportamiento del sistema de la economía nacional*. Si el sistema sufre un estancamiento crónico, los cambios de parámetros rara vez lo ponen en marcha. Si es extremadamente variable, no suelen estabilizarlo. Si crece de una manera cada vez más descontrolada, no conseguirán frenarlo.

Por mucho que fijemos un límite para las aportaciones a las campañas electorales, no conseguiremos acabar con la corrupción política. A pesar de los malabarismos que hace la Reserva Federal con los tipos de interés, no ha conseguido que desaparezcan los ciclos económicos. (Siempre olvidamos este detalle en tiempos de bonanza, y nos quedamos realmente perplejos cada vez que sobreviene una

crisis). Después de imponer durante décadas los límites de polución más estrictos en todo el mundo, el aire de la ciudad de Los Ángeles está menos contaminado, pero no está limpio. Aumentar el gasto en policía no sirve para que el crimen desaparezca.

Como voy a mostrar algunos casos en los que los parámetros son puntos de influencia, me gustaría hacer una advertencia. Los parámetros se convierten en puntos de influencia cuando alcanzan tales niveles que ponen en marcha alguno de los elementos que ocupan los primeros puestos de esta lista. Los tipos de interés, por ejemplo, o la tasa de natalidad controlan las ganancias en torno a los bucles de retroalimentación reforzadores. Los objetivos de los sistemas son parámetros que pueden marcar grandes diferencias.

Estos niveles críticos no se alcanzan con la frecuencia que la gente se piensa. La mayoría de los sistemas han evolucionado para mantenerse fuera de los parámetros críticos o han sido diseñados para ello. La mayoría de las veces, nuestros desvelos son infundados.

He aquí una anécdota que me envió un amigo por internet e ilustra lo que acabo de explicar:

> Cuando decidí alquilar mi casa, invertí una gran cantidad de tiempo y de esfuerzo en intentar determinar cuál era el precio «justo» de la renta que debía cobrar a mis futuros inquilinos.
>
> Intenté tener en cuenta todas las variables, incluidos los ingresos relativos de mis inquilinos, mis propios ingresos y mis necesidades de flujo de caja; los gastos que correspondían al mantenimiento y los que correspondían al capital; comparé lo que me parecía justo con la fracción de intereses de los pagos de la hipoteca; calculé el valor del trabajo que yo había invertido en la casa, etc.
>
> No conseguí llegar a ninguna conclusión. Al final, acudí a una asesora financiera. «Estás actuando como si existiera una diferencia mínima entre los alquileres justos y los injustos», me dijo. «Piensas que, si le cobras demasiado, le joderás la vida a tu inquilino; y si te pasas de barato, te la joderás a ti. Pero en realidad existe una enorme zona gris dentro de la cual podéis llegar a un acuerdo bueno o por lo menos justo para los dos. Deja de preocuparte y sigue viviendo».[52]

11. Amortiguadores: la relación entre el tamaño de una reserva estabilizadora y sus flujos

Pensemos en una enorme bañera con un flujo de entrada y un flujo de salida lentos. Ahora pensemos en una reserva pequeña con flujos muy rápidos. Esa es la diferencia entre un lago y un río. Es mucho más habitual oír hablar de ríos que se desbordan con consecuencias catastróficas que de inundaciones de lagos, porque las reservas grandes en relación con sus flujos son más estables que las pequeñas. En química y en otros campos, una reserva estabilizadora se conoce con el nombre de amortiguador.

La capacidad estabilizadora de los amortiguadores es la razón por la que guardamos el dinero en el banco en lugar de vivir del dinero que entra y sale de nuestro bolsillo. Es la razón de que las tiendas mantengan cierto nivel de existencias en lugar de pedir más productos

en el momento en que los clientes salen por la puerta con los viejos productos. Es la razón por la que no basta con conservar la población reproductora mínima de una especie amenazada. Los suelos en el este de Estados Unidos son más sensibles a la lluvia ácida que los del oeste, porque no tienen grandes amortiguadores de calcio que neutralicen el ácido.

Se puede dotar de estabilidad a un sistema incrementando la capacidad de un amortiguador.[53] Pero si crece demasiado, el sistema pierde flexibilidad. Reacciona con demasiada lentitud. Y algunos tipos de amortiguadores de gran tamaño, como las presas o las existencias de una tienda, son caros de construir y de mantener. Las empresas inventaron los sistemas de existencias en respuesta a la demanda porque la vulnerabilidad ocasional a las fluctuaciones o a las meteduras de pata es más rentable (para ellos, por lo menos) que los costes constantes de mantenimiento de existencias y porque sistemas de existencias muy reducidos permiten una respuesta más flexible a la demanda cambiante.

Se puede alterar un sistema, a veces de manera milagrosa, variando el tamaño de los amortiguadores. Pero, por lo general, los amortiguadores son entidades físicas y no son fáciles de cambiar. La capacidad de absorción de ácido de los suelos del este no es un punto de influencia que permita mitigar los perjuicios de la lluvia ácida. La capacidad de almacenamiento de una presa se encuentra literalmente forjada en hormigón. Por eso los amortiguadores no ocupan una posición demasiado elevada en la lista de puntos de influencia.

10. Estructuras de flujos: sistemas físicos y sus nodos de intersección

La estructura de tuberías, las reservas y los flujos y su disposición física pueden ejercer un enorme efecto en el funcionamiento del sistema. Cuando se construyó el sistema de carreteras húngaro, se diseñó de tal manera que la totalidad del tráfico procedente de un lado de la nación en dirección al otro lado tuviera que pasar por la ciudad de Budapest, situada justo en el centro. Esto condicionó en gran medida la contaminación del aire y los retrasos en los desplazamientos, que no se solucionan fácilmente con dispositivos anticontaminantes, semáforos o límites de velocidad.

La única manera de reparar un sistema mal diseñado es volver a construirlo, si es posible. Amory Lovins y su equipo del Rocky Mountain Institute han hecho maravillas en el ámbito de la conservación de energía enderezando tuberías torcidas y alargando las que son demasiado cortas. Si lleváramos a cabo un acondicionamiento energético similar en todos los edificios de Estados Unidos, podríamos permitirnos cerrar muchas centrales eléctricas.

Pero la reconstrucción física suele ser el tipo de cambio más lento y costoso que se puede efectuar en un sistema. Algunas estructuras de flujo son sencillamente inalterables. El *baby boom* que experimentó la población estadounidense ejerció una mayor presión sobre el sistema de la educación elemental, después sobre el de educación secundaria, más tarde sobre la universidad, el empleo y la vivienda, y ahora estamos financiando la jubilación de esa generación. Y no podemos hacer gran cosa para remediarlo, porque los niños de cinco años acaban cumpliendo seis y las personas de sesenta y cuatro acaban cumpliendo sesenta y cinco de manera previsible e imparable. Lo mismo se puede decir del ciclo vital de las destructivas moléculas de CFC de la capa de ozono, del tiempo que se tarda en depurar un acuífero de sustancias contaminantes, del tiempo que tarda en regenerarse un parque móvil ineficiente, entre diez y veinte años.

La estructura física es fundamental en un sistema, pero casi nunca se puede utilizar como punto de influencia, pues no es imposible alterarla de manera rápida y sencilla. El punto de influencia es un diseño inicial eficaz. Una vez que se construye la estructura, la manera de influir en el sistema consiste en entender sus limitaciones y obstáculos, y en utilizarlo de la manera más eficiente, evitando fluctuaciones o ampliaciones que sobrecargarían su capacidad.

09. Retrasos: la relación entre la cantidad de tiempo y la velocidad de los cambios del sistema

Los retrasos en los bucles de retroalimentación determinan de manera decisiva el comportamiento del sistema. Son una de las causas más habituales de las oscilaciones. Si intentamos regular una reserva (la reserva de existencias de una tienda) para cumplir nuestro objetivo, pero solo recibimos información diferida sobre el estado de la reserva, rebasaremos nuestro objetivo o no llegaremos a alcanzarlo. Lo mismo sucede si recibimos información puntual, pero reaccionamos con retraso. Por ejemplo, se tardan varios años en construir una central eléctrica que lo más probable es que dure treinta años. Por culpa de esos retrasos, es imposible construir el número adecuado de centrales eléctricas para satisfacer una demanda de electricidad que cambia rápidamente. A pesar de los enormes esfuerzos de previsión, casi todas las industrias eléctricas del mundo experimentan acusadas oscilaciones entre el exceso y el déficit de capacidad. Un sistema, sencillamente, no puede reaccionar a los cambios a corto plazo cuando experimenta retrasos prolongados. Por esa razón un sistema de planificación de centrales descomunal, como el de la Unión Soviética o el de General Motors, tiene que funcionar mal necesariamente.

Como conocemos su importancia, vemos retrasos miremos donde miremos. Por ejemplo, el tiempo que pasa entre que se vierte una

sustancia contaminante en el suelo y se filtra a las aguas subterráneas; o el tiempo que transcurre entre el nacimiento de un niño y el momento en que ese niño se encuentra en condiciones de reproducirse; o el que transcurre entre la primera prueba exitosa de un nuevo avance tecnológico y el momento en que se distribuye por todo el sistema económico; o el que tarda un precio en adaptarse a un desajuste entre la oferta y la demanda.

Un retraso en un proceso de retroalimentación ejerce una influencia decisiva *sobre el ritmo de cambio de las reservas que ese bucle está intentando controlar*. Los retrasos demasiado breves provocan una reacción exagerada, el fenómeno del gato que se persigue su propio rabo, oscilaciones amplificadas por el nerviosismo de la respuesta. Los retrasos demasiado prolongados provocan oscilaciones amortiguadas, sostenidas o explosivas, dependiendo de lo largos que sean. Los retrasos excesivamente prolongados en un sistema con un umbral, un punto de peligro, un límite que puede provocar un daño irreversible en caso de que se supere, generan excesos y la destrucción del sistema.

Estaría dispuesta a considerar que la duración del retraso es uno de los puntos de influencia más importantes si no fuera porque no son nada fáciles de cambiar. Las cosas duran lo que duran. No se puede alterar el tiempo de construcción de una porción importante de capital, ni el tiempo de maduración de un niño ni el ritmo de crecimiento de un bosque. Por lo general, es más fácil *ralentizar el ritmo de cambio*, para que los inevitables retrasos de retroalimentación no causen demasiados problemas. Por eso el ritmo de crecimiento ocupa una posición más elevada en la tabla de puntos de influencia que la duración del retraso.

Y por eso en el modelo Mundo de Forrester la ralentización del crecimiento económico es un punto de influencia más importante que la aceleración del desarrollo tecnológico o la liberalización de los precios del mercado. El objetivo de estos dos procesos es acelerar el ritmo de adaptación. Pero la reserva de capital del mundo físico, sus fábricas y sus calderas, las manifestaciones concretas de sus tecnologías operativas, solo pueden cambiar a su propio ritmo, aunque se impongan nuevos precios o nuevas ideas —y los precios y las ideas tampoco cambian de manera instantánea ni lo hacen de manera uniforme en una cultura global—. Es más fácil cambiar el sistema para que las tecnologías y los precios puedan adaptarse a su ritmo que intentar acabar con los retrasos.

Pero si existe un retraso en tu sistema que *se puede* cambiar, hacerlo puede tener grandes consecuencias. ¡Cuidado! ¡Asegúrate de que lo cambias en la dirección adecuada! (Por ejemplo, el gran esfuerzo por reducir los retrasos en la transferencia de información y de dinero en los mercados financieros conduce inevitablemente a la inestabilidad).

08. Bucles de retroalimentación compensadores: la relación entre la intensidad del proceso de retroali-mentación y los impactos que intentan corregir

Ahora vamos a alejarnos de la parte física del sistema para acercarnos a la parte de la información y el control, que es donde más influencia se puede ejercer en él.

En los sistemas, los bucles de retroalimentación compensadores se encuentran por todas partes. La naturaleza los desarrolla y los humanos los inventan como mecanismos de control para mantener las reservas importantes dentro de unos límites seguros. El ejemplo típico es el del bucle del termostato. Su objetivo es mantener la reserva del sistema llamada «temperatura de la habitación» más o menos constante cerca de un nivel deseado. Todo bucle compensador necesita un objetivo (la temperatura a la que se regula el termostato), un instrumento de control y señalización para detectar la desviación del objetivo (el termostato) y un mecanismo de respuesta (la caldera y/o el aire acondicionado, los ventiladores, las bombas, las tuberías, el combustible, etc.).

Un sistema complejo suele tener numerosos bucles compensadores que puede poner en juego para poder autorregularse bajo diferentes condiciones e influencias. Algunos de esos bucles pueden mantenerse inactivos durante mucho tiempo —como el sistema de enfriamiento de emergencia en una central nuclear o la capacidad de sudar o tiritar que utilizamos los humanos para mantener constante la temperatura del cuerpo—, pero su presencia es decisiva para el bienestar a largo plazo del sistema.

Uno de los errores más graves que cometemos es desprendernos de estos mecanismos de respuesta de «emergencia» porque no se utilizan a menudo y parecen costosos. A corto plazo, observamos que no sucede nada. A largo plazo, limitamos de manera drástica la variedad de circunstancias a las que el sistema puede sobrevivir. Uno de los ejemplos más dolorosos de este fenómeno es el de la invasión de los hábitats de las especies amenazadas. Otro, la invasión de nuestro tiempo de descanso, de ocio, de socialización, de meditación.

La intensidad de un bucle compensador —su capacidad para lograr que la reserva alcance su objetivo o se acerque a él— depende de la combinación de todos sus parámetros y vínculos: la precisión y la rapidez de la supervisión, la inmediatez y la contundencia de la respuesta, lo directos que sean los flujos de corrección y su magnitud. A veces encontramos puntos de influencia aquí.

Pensemos en los mercados, por ejemplo, los bucles de retroalimentación compensadores venerados por tantos economistas. Pueden llegar a desarrollar una capacidad de autocorrección prodigiosa, cuando los precios varían para regular la oferta y la

demanda y consiguen que se mantengan compensadas. El precio es la pieza de información fundamental que sirve de indicador tanto a los productores como a los consumidores. A mayor claridad, menor ambigüedad, mayor puntualidad y mayor veracidad del precio, mayor fluidez en el funcionamiento de los mercados. Los precios que reflejan *la totalidad* de los costes indican a los consumidores la cantidad de consumo que se pueden permitir y recompensarán a los productores eficientes. Las compañías y los gobiernos sienten una atracción fatal por el punto de influencia del precio, pero con demasiada frecuencia lo utilizan mal, e introducen subsidios, impuestos y otras formas de confusión.

Estas modificaciones debilitan la capacidad de retroalimentación de los indicadores del mercado y tergiversan la información en su propio beneficio. El *verdadero* factor determinante en este caso es evitar que lo hagan. De ahí la necesidad de leyes antitrust, leyes contra la publicidad engañosa, de propuestas para internalizar los costes (por ejemplo, las tasas de contaminación), la supresión de subvenciones perniciosas y otras estrategias destinadas a nivelar el terreno de juego del mercado.

El fortalecimiento y la transparencia de los indicadores del mercado, como la contabilidad de los costes totales, no resultan demasiado útiles en nuestra época, porque debilitan otros bucles de retroalimentación compensadores: los de la democracia. Este excelente sistema se inventó para introducir un proceso de retroalimentación autocorrector entre el pueblo y sus gobernantes. El pueblo recibe información sobre la actuación de sus representantes electos y reacciona a esa información concediéndoles o retirándoles su voto. El proceso se basa en el flujo de información libre, total y objetiva entre el electorado y sus líderes, y viceversa. Se invierten miles de millones de dólares en limitar, condicionar y controlar ese flujo de información transparente. Si otorgamos a los que quieren distorsionar los indicadores de los precios de mercado la capacidad de influir en los líderes del gobierno, si permitimos que los distribuidores de información se conviertan en parte interesada, los bucles compensadores necesarios dejarán de funcionar correctamente. Tanto el mercado como la democracia se deteriorarán.

La intensidad de un bucle de retroalimentación compensador es importante *en relación con el impacto que pretende corregir*. Si se incrementa la intensidad del impacto, habrá que incrementar también la intensidad de los bucles de retroalimentación. Un sistema de termostato puede funcionar perfectamente en un frío día de invierno, pero si abrimos todas las ventanas de la habitación, su capacidad de corrección no podrá contrarrestar el cambio de temperatura que se ha impuesto al sistema. La democracia funciona mejor si controlamos la

capacidad de lavar el cerebro de los medios de comunicación de masas mayoritarios. Los mecanismos de control pesqueros tradicionales funcionaron hasta que se inventó el sónar, las redes de arrastre y otros avances tecnológicos que hicieron posible que un puñado de actores fueran capaces de pescar hasta el último pez. Para mantener bajo control a las grandes industrias se necesita un gran gobierno; una economía global precisa regulaciones globales.

He aquí algunos ejemplos de fortalecimiento de los controles de retroalimentación compensadores para mejorar la capacidad de autocorrección de un sistema:

- ⟶ Medicina preventiva, ejercicio y una alimentación adecuada para potenciar la capacidad del cuerpo para enfrentarse a las enfermedades.
- ⟶ Control de plagas integrado para favorecer que los depredadores naturales regulen las plagas agrícolas.
- ⟶ Supervisión de los sistemas para informar del daño medioambiental.
- ⟶ Protección para las personas que denuncian.
- ⟶ Tasas de impacto, impuestos por contaminación y fianzas de cumplimiento para reconquistar los costes públicos externalizados de los beneficios privados.

07. Bucles de retroalimentación reforzadores: la ventaja del incremento de los bucles determinantes

Los bucles de retroalimentación compensadores se corrigen a sí mismos; los bucles de retroalimentación reforzadores se refuerzan. A mayor funcionamiento, mayor capacidad para funcionar un poco más e impulsar el comportamiento del sistema en una dirección determinada. A mayor cantidad de enfermos de gripe, mayor contagio. A mayor número de nacimientos, mayor número de personas que llegarán a la edad adulta y podrán reproducirse a su vez. A mayor volumen de nuestra cuenta corriente, mayor cantidad de intereses y mayor volumen de dinero. Cuanto más se erosione el suelo, menos vegetación podrá soportar; las raíces y las hojas no podrán mitigar el impacto de la lluvia y de la escorrentía y, por tanto, la erosión del suelo se agravará. A mayor densidad de neutrones de alta energía en la masa crítica, más chocarán con los núcleos y mayor densidad de neutrones de alta energía se generará, lo cual dará lugar a una explosión o fusión nuclear.

Los bucles de retroalimentación reforzadores generan crecimiento, explosión, erosión y el colapso de los sistemas. Un sistema con un bucle reforzador descontrolado puede acabar destruyéndose, a la larga. Por eso son tan escasos. Por lo general, los bucles compensadores se hacen notar, tarde o temprano. Las epidemias se

quedan sin personas a las que contagiar, o la gente toma medidas cada vez más estrictas para evitar contagiarse. La tasa de defunciones crece hasta igualarse con la de nacimientos, o la gente sufre las consecuencias de un crecimiento desenfrenado de la población y decide tener menos hijos. El suelo se erosiona hasta alcanzar el lecho de roca, y después de un millón de años el lecho de roca se desmorona para formar un nuevo suelo, o la gente decide acabar con la sobreexplotación, empieza a construir diques de contención, a plantar árboles y se frena la erosión.

En todos estos ejemplos, el primer resultado es lo que sucede cuando el bucle reforzador sigue su curso; el segundo, lo que ocurre cuando se interviene para reducir su capacidad de multiplicación. Reducir la intensidad en torno al bucle reforzador —la ralentización del crecimiento— suele ser un punto de influencia mucho más eficaz que reforzar los bucles compensadores, y mucho más conveniente que permitir que el bucle reforzador siga funcionando descontroladamente.

En el modelo Mundo la tasa de población y de crecimiento económico son puntos de influencia, porque, si se ralentizan, se concede un tiempo extra para funcionar a los numerosos bucles compensadores del sistema, a través de la tecnología y los mercados y otras formas de adaptación (con sus correspondientes límites y retrasos). Lo mismo sucede en un coche que avanza a toda velocidad y el conductor desacelera en lugar de exigir unos frenos más sensibles o avances técnicos en la dirección.

En la sociedad existen muchos bucles de retroalimentación reforzadores que recompensan a los vencedores de una competición con recursos para obtener una ventaja aún mayor la vez siguiente: la trampa del «éxito que atrae al éxito». Los ricos cobran intereses; los pobres los pagan. Los ricos contratan a asesores y presionan a los políticos para que les bajen los impuestos; los pobres no pueden. Los ricos transmiten a sus hijos su herencia y les proporcionan una buena educación. Los programas destinados a combatir la pobreza son bucles compensadores débiles que tratan de contrarrestar la intensidad de esos bucles reforzadores. Sería mucho más efectivo debilitar los bucles reforzadores. Para eso se inventaron los impuestos sobre la renta progresivos, el impuesto de sucesiones y la educación pública universal de alta calidad. ¡Si los ricos consiguen que el gobierno reduzca esas medidas en lugar de reforzarlas, entonces el propio gobierno deja de ser una estructura compensadora y se convierte en una estructura que refuerza el éxito que atrae al éxito!

Debemos buscar puntos de influencia en torno a las tasas de natalidad, los tipos de interés, los ritmos de erosión, los bucles del «éxito que atrae al éxito» o cualquier lugar donde la acumulación

incrementa la posibilidad de acumular aún más.

06. Flujos de información: la estructura de los que pueden acceder a la información y los que no pueden hacerlo

En el capítulo 4, vimos la anécdota de los contadores eléctricos de un barrio holandés: en algunas casas el contador estaba instalado en el sótano; en otras, en el recibidor. Aunque esa era la única diferencia, el consumo de electricidad se reducía en un 30% en los hogares en los que el contador se encontraba en el recibidor, un lugar bien visible.

Me encanta esa historia, porque es un ejemplo que ilustra a la perfección lo que es un punto de influencia efectivo de la estructura de información del sistema. No es una regulación de parámetros ni un fortalecimiento o un debilitamiento de un bucle de retroalimentación existente. Es un nuevo bucle que transmite información a un lugar al que no se transmitía hasta entonces.

La pérdida de flujos de información es una de las causas más comunes del funcionamiento defectuoso de un sistema. Añadir o recuperar información puede ser un método de intervención muy eficaz y, por lo general, es mucho más sencillo y barato que reconstruir la infraestructura física del sistema. La tragedia de los recursos comunes que acabará llevando a la quiebra a las pesqueras comerciales se produce porque la relación de retroalimentación entre el estado de la población de peces y la decisión de invertir en barcos pesqueros es muy frágil. En contra de lo que piensan los economistas, el *precio* del pescado no activa ese proceso de retroalimentación. Cuando el pescado escasea, el precio se incrementa, y lo más rentable es salir a pescar los pocos peces que quedan. Se trata de un proceso de retroalimentación perverso, un bucle reforzador que nos lleva a la quiebra. No necesitamos información relacionada con los precios, sino información sobre la población.

Es importante reponer el flujo de retroalimentación interrumpido en el lugar adecuado y de una manera convincente. Pensemos en un ejemplo más relacionado con la tragedia de los recursos comunes: no basta con informar a todos los que explotan una reserva acuífera de que el nivel de agua freática está disminuyendo. En ese caso podríamos dar lugar a una competición por ver quién acaba antes con el recurso, una carrera hacia el abismo. Sería más efectivo conseguir que se produzca una subida vertiginosa en el precio del agua cuando el ritmo de extracción empiece a sobrepasar el ritmo de recuperación del acuífero.

No es difícil encontrar otros ejemplos de retroalimentación convincente. Supongamos que los contribuyentes tuvieran que especificar en su declaración de la renta en qué servicios públicos quieren que se invierta el dinero de sus impuestos (¡la democracia

radical!). Supongamos que cualquier ciudad o cualquier compañía que conecta una tubería para sacar agua de un río tuviera que colocarla justo *debajo* de la tubería por donde vierte sus propios residuos. Supongamos que cualquier administrador público o privado que toma la decisión de invertir en energía nuclear tuviera que almacenar los residuos nucleares en el jardín de su casa. Supongamos (este es un ejemplo muy antiguo) que los políticos que declararan la guerra tuvieran que luchar en el frente.

Los seres humanos tendemos sistemáticamente a eludir la responsabilidad de nuestras propias decisiones. Por eso se pierden tantos bucles de retroalimentación y por eso este tipo de punto de influencia es tan popular para las masas, tan impopular para los gobernantes y tan efectivo, si se consigue que los gobernantes lo permitan (o si los sorteamos y conseguimos intervenir en el sistema de todas maneras).

05. Reglas: incentivos, castigos y restricciones

Las reglas de un sistema definen su alcance, sus fronteras, su grado de libertad. No matarás. Todo el mundo tiene derecho a expresarse libremente. Los contratos se cumplen. Los presidentes gobiernan durante cuatro años y no pueden cumplir más de dos mandatos. Cada equipo cuenta con nueve jugadores, hay que tocar todas las bases, y si haces tres *strikes*, estás eliminado. Si atracas un banco, acabas en la cárcel.

Cuando Mijaíl Gorbachov llegó al poder, abrió los canales de información (la *glasnost*) y cambió las reglas económicas (*la perestroika*) y la Unión Soviética experimentó un cambio tremendo.

Una constitución es el mejor ejemplo de regla social. Las leyes físicas, la segunda ley de la termodinámica, por ejemplo, son reglas absolutas, y da igual que las entendamos o no; da igual que nos gusten o no. Las leyes, los castigos, los incentivos y los acuerdos sociales informales son reglas progresivamente más débiles.

Para demostrar el poder de las reglas, suelo pedir a mis alumnos que imaginen lo que sucedería si se cambiaran las reglas de la universidad. Supongamos que los alumnos examinaran a los profesores, o que se examinaran entre sí. Supongamos que no existieran las notas: que acudiéramos a la universidad cuando quisiéramos aprender algo y nos marcháramos cuando lo hubiéramos aprendido. Supongamos que los profesores obtuvieran su cátedra por su capacidad para solucionar problemas en el mundo real, no por los artículos académicos que publican. Supongamos que no se evaluara a los alumnos individualmente, sino a la clase como grupo.

Cuando intentamos imaginar unas reglas reestructuradas y cómo nos comportaríamos si las cumpliéramos, acabamos entendiendo el

poder que poseen las reglas. Son puntos de influencia muy eficaces. El poder que podemos obtener cuando cambiamos las reglas es un poder real. Por eso se reúnen los grupos de presión cuando el Congreso está a punto de redactar una ley, y por eso el Tribunal Supremo, que interpreta y define la constitución —las reglas que permiten diseñar las reglas— es más poderoso que el Congreso. Si queremos entender los fallos más graves de los sistemas, tendremos que prestar atención a las reglas y a los que tienen poder sobre ellas.

Por eso saltaron todas las alarmas de mi intuición sistémica cuando me explicaron el funcionamiento del nuevo sistema de comercio mundial. Es un sistema que se basa en reglas diseñadas por las corporaciones, dirigido por las corporaciones, que persigue el beneficio de las corporaciones. Sus reglas no guardan prácticamente ninguna relación con los demás sectores de la sociedad. La mayoría de las reuniones que organizan se celebran a puerta cerrada y ni siquiera la prensa puede asistir (no hay ningún flujo de información, ningún bucle de retroalimentación). Las naciones se ven obligadas a adoptar bucles reforzadores que les obligan a participar en «una carrera hacia el abismo», a competir entre sí para debilitar los escudos que protegen el medio ambiente y la sociedad con el fin de atraer las inversiones de las corporaciones. Es una receta que permite dar rienda suelta a los bucles del «éxito que atrae al éxito», hasta generar una acumulación de poder desmesurada y unos sistemas de planificación tremendamente centralizados que se destruirán a sí mismos.

04. Organización autónoma: la capacidad de añadir, cambiar o hacer evolucionar la estructura del sistema

La capacidad más sorprendente de los sistemas biológicos y de algunos sistemas sociales es la de cambiar completamente por sí solos, creando estructuras y comportamientos totalmente nuevos. En los sistemas biológicos esa capacidad se denomina evolución. En las economías humanas, avance técnico o revolución social. En la jerga de los sistemas, organización autónoma.

La organización autónoma implica alterar cualquiera de los aspectos de un sistema que ocupan los puestos inferiores de nuestra lista: añadir estructuras físicas y comportamientos totalmente nuevos, como un cerebro, unas alas o un sistema informático, incorporando nuevos bucles compensadores o reforzadores o nuevas reglas. La capacidad de organización autónoma es la variedad de resiliencia sistémica más potente. Un sistema capaz de evolucionar puede sobrevivir prácticamente a cualquier cambio, adaptándose de manera autónoma. El sistema inmunológico humano posee la capacidad de desarrollar nuevas respuestas a amenazas a las que se enfrenta por primera vez. El cerebro humano puede asimilar nueva información y destilar ideas

completamente nuevas.

La capacidad de organización autónoma es un fenómeno tan increíble que tendemos a considerar que es un misterio, un milagro, un regalo del cielo. Los economistas suelen presentar los avances tecnológicos como si fueran trucos de magia: surgen de la nada, no cuestan nada, contribuyen a incrementar la productividad de una economía a un ritmo anual constante. Durante siglos, los humanos hemos contemplado la espectacular diversidad de la naturaleza con un asombro similar. Solo una divinidad creadora podría crear algo tan maravilloso.

Las investigaciones posteriores de los sistemas dotados de capacidad de organización autónoma han demostrado que la divinidad creadora, si es que existe, no tiene por qué obrar milagros evolutivos. Basta con que ese dios, esa diosa o lo que sea, se limite a diseñar *reglas de organización autónoma* maravillosamente inteligentes. Estas reglas básicamente regulan cómo, dónde y qué puede el propio sistema añadir o sustraer a su estructura bajo unas condiciones determinadas. Como ya han demostrado cientos de modelos informáticos capaces de organizarse de manera autónoma, es posible desarrollar pautas complejas y elegantes a partir de un conjunto de reglas bastante sencillas. El código genético del ADN, la base de toda la evolución biológica, está formado tan solo por cuatro letras diferentes, que se combinan para formar palabras de tres letras. Ese patrón, y las reglas que permiten replicarlo y reordenarlo, se ha mantenido constante durante unos tres mil millones de años, en el transcurso de los cuales ha traído al mundo una variedad inimaginable de criaturas que han evolucionado por sí mismas y se han adaptado con mayor o menor éxito.

La organización autónoma es un proceso en el que intervienen, básicamente, una materia prima capaz de evolucionar —una reserva de información enormemente variable que puede dar lugar a distintos patrones— y un medio para la experimentación, la selección y el examen de nuevos patrones. En el caso de la evolución biológica, la materia prima es el ADN, una fuente de variedad es la mutación espontánea y el mecanismo de prueba es un entorno cambiante en el que algunos individuos no sobreviven para reproducirse. En el caso de la tecnología, la materia prima es la cantidad de conocimientos científicos acumulados y almacenados en las bibliotecas y en la mente de los expertos. La fuente de variedad es la creatividad humana (sea lo que sea *eso*) y el mecanismo de selección podría ser la recompensa del mercado, o la financiación de los gobiernos y las fundaciones, o la satisfacción de las necesidades humanas.

Cuando uno entiende la capacidad de organización autónoma de los sistemas, puede comprender por qué los biólogos veneran la

biodiversidad más aún que los economistas la tecnología. La demencial variedad de la reserva del ADN, que ha evolucionado y se ha acumulado durante miles de millones de años, es la fuente del potencial evolutivo, de la misma manera que las bibliotecas y los laboratorios y las universidades de ciencias en las que se forman los científicos son la fuente del potencial tecnológico. Permitir que las especies se extingan es un crimen sistémico tan grave como eliminar al azar todos los ejemplares de una revista científica o de un tipo determinado de científico.

Lo mismo se podría decir de las culturas humanas, por supuesto, una reserva de repertorios de conducta que no se han acumulado a lo largo de miles de millones de años, sino de miles de años. A partir de esa reserva puede surgir la evolución. Por desgracia, el potencial evolutivo de las culturas se valora aún menos que el valor de cada variación genética en las ardillas de tierra del mundo. Supongo que se debe a que un aspecto de casi todas las culturas es la creencia en la superioridad absoluta de esa cultura.

La insistencia en la uniformidad cultural impide el desarrollo del conocimiento y reduce la resiliencia. Cualquier sistema biológico, económico o social que se enquista hasta tal punto que es incapaz de evolucionar por sí mismo, un sistema que desprecia sistemáticamente la experimentación y destruye la materia prima de la innovación, está condenado a fracasar en este planeta profundamente variable.

En este caso, el punto de intervención es evidente, pero no goza de demasiada popularidad. Para favorecer la variabilidad y la experimentación y la diversidad hay que «perder el control». ¡Si dejamos que florezcan un millar de flores puede suceder *cualquier* cosa! ¿Quién está dispuesto a correr ese riesgo? ¡Mejor apostar sobre seguro, utilizar al revés este punto de influencia y destruir la diversidad biológica, cultural, social y mercantil!

03. Objetivos: el propósito o la función del sistema

Precisamente, la destrucción de la diversidad que se produce como consecuencia de la presión que se ejerce para lograr control demuestra por qué el objetivo de un sistema es un punto de influencia superior a la capacidad de organización autónoma. Si el objetivo de un sistema es someter cada vez más regiones del mundo al control de un sistema de planificación central (el imperio de Gengis Khan, la Iglesia, la República Popular de China, Wal-Mart, Disney), entonces los elementos de esta lista que hemos enumerado hasta ahora, las reservas y los flujos físicos, los bucles de retroalimentación, los flujos de información, incluso el comportamiento de organización autónoma, se doblegarán para que se adapten a ese objetivo.

Por eso nunca discuto si la ingeniería genética es «buena» o «mala».

Como sucede con todos los avances tecnológicos, todo depende de quién la use y con qué objetivo. Lo único que se puede decir es que, si las corporaciones deciden utilizarla para generar productos comerciales, se impondrá un objetivo muy diferente, un mecanismo de selección muy diferente y la evolución seguirá un camino muy diferente de todo lo que hemos visto hasta ahora en este planeta.

Como he demostrado con ayuda de ejemplos sencillos de un solo bucle, la mayoría de los bucles de retroalimentación compensadores de los sistemas tienen sus propios objetivos: mantener el agua de la bañera en el nivel adecuado, mantener la temperatura de la habitación en un nivel confortable, mantener una reserva de existencias suficiente, acumular un volumen de agua satisfactorio en una presa. Esos objetivos son importantes puntos de influencia para los sistemas, y la mayoría de la gente lo sabe. Si queremos calentar la habitación, sabemos que hay que intervenir en el termostato. Pero existen objetivos que permiten una intervención aún más eficaz, los que afectan a la totalidad del sistema.

A menudo, ni siquiera la gente implicada en el propio sistema reconoce cuál es el objetivo global. «Obtener beneficios», dirían la mayoría de las corporaciones, pero eso no es más que una regla, una condición necesaria para seguir jugando. ¿Cuál es la finalidad del juego? Crecer, aumentar la cuota de mercado, someter gradualmente al mundo (a los clientes, a los proveedores, a los legisladores) al control de la corporación, para que sus operaciones se encuentren cada vez más a salvo de la incertidumbre. John Kenneth Galbraith se dio cuenta hace mucho tiempo de que el objetivo de cualquier empresa era ese: apoderarse de todo.[54] Es el mismo objetivo del cáncer. En realidad, es el objetivo de cualquier población de seres vivos, y solo resulta perjudicial cuando no se equilibra con unos bucles de retroalimentación compensadores más generales que nunca permiten que una presuntuosa entidad subordinada a un bucle de poder controle el mundo. El objetivo de conseguir mantener la competitividad del mercado tiene que anteponerse al objetivo de cada corporación individual —eliminar a la competencia—, del mismo modo que en los ecosistemas, el objetivo de mantener el equilibrio de las poblaciones y evolucionar tiene que anteponerse al objetivo de la reproducción ilimitada de cada población.

Ya he explicado antes que cambiar los actores de un sistema es uno de los procedimientos de intervención menos eficaces, siempre que los actores sigan inscritos en el mismo sistema. La excepción a esa regla se encuentra en la cúspide, cuando un único actor posee la capacidad de cambiar el objetivo del sistema. En muy contadas ocasiones he observado maravillada cómo el líder de una organización, desde el Dartmouth College hasta la Alemania nazi, sube al poder, proclama un

nuevo objetivo y cientos o miles o millones de personas absolutamente inteligentes y racionales cambian su forma de pensar y toman una nueva dirección.

Eso fue lo que hizo Ronald Reagan, y nosotros fuimos testigos. Poco antes de que él llegara al poder, un presidente podía decir: «No os preguntéis qué puede hacer el gobierno por vosotros; preguntaos que podéis hacer vosotros por el gobierno», y todo el mundo se lo tomaba en serio. Reagan repetía una y otra vez que el objetivo no era conseguir que la gente ayudara al gobierno, ni que el gobierno ayudara a la gente, sino quitarnos de encima al gobierno. Alguien podría decir, y yo estaría de acuerdo, que los cambios más generales en el sistema y la imposición del poder de las empresas por encima del poder del gobierno le permitieron salirse con la suya. Pero el discurso público en Estados Unidos e incluso en el resto del mundo ha cambiado tanto desde Reagan que no se puede cuestionar que definir los nuevos objetivos de un sistema, exponerlos, repetirlos, defenderlos e insistir en ellos es un procedimiento muy eficaz para cambiarlo.

02. Paradigmas: la mentalidad de la que surgen los objetivos, la estructura, las reglas, los retrasos y los parámetros del sistema

Otra de las célebres ideas de Jay Forrester en relación con los sistemas se puede expresar de la siguiente manera: no importa cómo esté redactada la legislación fiscal de un país. En toda sociedad existe una visión común de lo que se considera la distribución «equitativa» de la carga tributaria. Digan lo que digan las leyes, se respetarán o se desobedecerán con ayuda de complicaciones, engaños, exenciones o deducciones, o de recortes constantes, pero el pago real de los impuestos siempre se ceñirá a la idea aceptada de «distribución equitativa».

Ese modelo mental social compartido, los grandes supuestos tácitos, constituyen el paradigma de esa sociedad, un conjunto de creencias arraigadas sobre el funcionamiento del mundo. Son tácitas porque no es necesario hacerlas explícitas: todo el mundo las conoce. El dinero mide algo real y posee un significado real; por tanto, a la gente que cobra menos literalmente se la valora menos. El crecimiento es bueno. La naturaleza es una reserva de recursos que hay que someter a los propósitos humanos. La evolución se interrumpió con la aparición del *Homo sapiens*. Las personas podemos convertirnos en «propietarias» de la tierra. Estas son solo algunas de las suposiciones paradigmáticas de nuestra cultura actual, y en otras culturas son objeto de la más absoluta estupefacción, pues se considera que no son ni mucho menos evidentes.

Los paradigmas son el origen de los sistemas. De ellos, de los pactos

sociales establecidos sobre la naturaleza de la realidad, surgen los objetivos y los flujos de información del sistema, los procesos de retroalimentación, las reservas, los flujos y los demás elementos de los sistemas. Nadie ha sabido expresarlo mejor que Ralph Waldo Emerson:

> Las naciones, lo mismo que los hombres, se rodean inmediatamente de un aparato material que corresponde con […] su pensamiento. No tenéis más que observar cómo cada verdad y cada error, los pensamientos que brotan de la inteligencia humana, se visten al instante de sociedades, casas, ciudades, idioma, ceremonias y periódicos. Observad las ideas actuales […] y cómo la madera, el ladrillo, la cal y la piedra se han puesto a su servicio en la conveniente forma y obedecen a la idea madre que reina en las inteligencias de muchas personas. […] De aquí se sigue, por consiguiente, que el menor cambio que experimentaran las ideas del hombre […] provocaría los cambios más sorprendentes en las cosas externas.[55]

Los antiguos egipcios construyeron las pirámides porque creían en la vida de ultratumba. Nosotros construimos rascacielos porque creemos que el espacio del centro de las ciudades es increíblemente valioso. Tanto en el caso de Copérnico y de Kepler, que demostraron que la Tierra no era el centro del universo, como en el de Einstein, que defendía que la materia y la energía son intercambiables, o en el de Adam Smith, que postulaba que las acciones egoístas de los actores individuales en los mercados se acumulan de manera prodigiosa para obtener el bien común, los que consiguen intervenir en los paradigmas de los sistemas localizan un punto de influencia que les permite transformarlos por completo.

Alguien podría aducir que los paradigmas son más difíciles de cambiar que cualquier otro elemento de un sistema, y que, por tanto, deberían ocupar un lugar menos importante en la lista, no la segunda posición. Pero los cambios de paradigma no exigen un enorme esfuerzo físico ni una inversión descomunal, ni siquiera son procesos de una lentitud extrema. En un único individuo, pueden producirse en una milésima de segundo. Lo único que necesita es que su mente haga clic, quitarse la venda de los ojos, ver las cosas de otra manera. Cuando se trata de una sociedad entera, la cosa cambia: las sociedades se resisten con uñas y dientes a cambiar de paradigmas.

Por tanto, ¿cómo se pueden cambiar los paradigmas? Thomas Kuhn, que escribió el libro más influyente sobre los grandes cambios de paradigma en la ciencia, tiene mucho que decir sobre este tema.[56] Para cambiarlos hay que dejar al descubierto las anomalías y los defectos del viejo paradigma. Defender el nuevo paradigma con aplomo y vehemencia. Situar a los que defienden el nuevo paradigma en posiciones de poder, con visibilidad pública. No perder el tiempo con los reaccionarios, sino colaborar con los agentes capaces de provocar un cambio activo y con el amplio sector de la sociedad que posee una mentalidad abierta.

Los que se dedican a la modelización de sistemas afirman que lo más importante para cambiar un paradigma es construir un modelo

que nos permita distanciarnos del sistema y obtener una visión global. Y yo puedo afirmarlo porque así fue como cambiaron mis propios paradigmas.

01. Trascender los paradigmas

Existe todavía un punto de influencia aún más importante que un cambio de paradigma. Consiste en mantener nuestra independencia en el terreno de los paradigmas, mostrarnos flexibles, comprender que *ningún* paradigma es «verdadero», que todos ellos, incluido el que modela suavemente nuestra propia visión del mundo, es una interpretación tremendamente limitada de un universo inmenso y alucinante que se encuentra más allá de la comprensión humana. Consiste en «sentir» con el corazón que los paradigmas no existen, y comprender que esa intuición es un paradigma de por sí, y considerar que es un descubrimiento tremendamente divertido. Consiste en dejarse llevar por el desconocimiento, por lo que los budistas definen como «iluminación».

Cuando la gente que se aferra a los paradigmas (es decir, prácticamente todos nosotros) vislumbra la posibilidad de que todo lo que han dado por sentado hasta ahora carezca por completo de sentido, empieza a remar rápidamente en la dirección contraria. Seguramente, la idea de que no existe certidumbre en *ninguna* visión del mundo no concede ningún poder, ninguna capacidad de control, ningún conocimiento; ni siquiera posee una razón de ser y mucho menos de actuar. Pero lo cierto es que a todos los que han conseguido abrigar esa idea, durante un instante o durante toda su vida, les ha servido de base para un fortalecimiento radical. Si no existe ningún paradigma verdadero, podemos elegir cualquiera que nos ayude a alcanzar nuestro propósito. Si no sabemos dónde encontrar un propósito, podemos prestar atención al universo.

Este espacio de dominio de los paradigmas es el lugar donde la gente consigue librarse de una adicción, vivir en la felicidad constante, derrocar imperios, ser encerrado, ser quemado en la hoguera, crucificado o fusilado, y ejercer una influencia que puede durar miles de años.

Se podrían decir muchísimas cosas que ayudarían a matizar esta lista de lugares donde intervenir en un sistema. Es una lista provisional y el orden es bastante precario. En cada uno de los puntos se pueden producir excepciones que nos obligarían a alterar el orden de influencia. El hecho de que esta lista haya estado bullendo durante años en mi subconsciente no me convierte en una superheroína. Cuanto más elevado sea el punto de influencia, más se resistirá el sistema a cambiar: por eso la sociedad suele acabar con los verdaderos iluminados.

Acceder a los puntos de influencia mágicos no es sencillo, aun cuando sepamos dónde se encuentran y cómo intervenir en ellos. La maestría tiene un precio. Hay que trabajar con ahínco para conseguirla, y puede que tengamos que recurrir a los análisis rigurosos de los sistemas, desprendernos de todos nuestros paradigmas y entregarnos a la humildad del desconocimiento. Al final, da la sensación de que la maestría no tiene tanto que ver con actuar sobre los puntos de influencia como con dejarse llevar estratégicamente, profundamente, irracionalmente y bailar con el sistema.

[49] Lawrence Malkin, «IBM Slashes Spending for Research in New Cutback», *International Herald Tribune*, 16 de diciembre de 1992, p. 1.

[50] J. W. Forrester, *World Dynamics*, Cambridge, Massachusetts, Wright-Allen Press, 1971.

[51] Forrester, *Urban Dynamics*, Cambridge, Massachusetts, The MIT Press, 1969, p. 65.

[52] Quisiera dar las gracias a David Holmstrom, de Santiago de Chile.

[53] Para un ejemplo, véase el modelo de fluctuaciones del precio de los productos de Dennis Meadows: Dennis L. Meadows, *Dynamics of Commodity Production Cycles*, Cambridge, Massachusetts, Wright-Allen Press, Inc., 1970.

[54] John Kenneth Galbraith, *The New Industrial State*, Boston, Houghton Mifflin, 1967. [Trad. cast.: *El nuevo estado industrial*, Barcelona, Ariel, 1967].

[55] Ralph Waldo Emerson, «War», conferencia dictada en Boston en marzo de 1838. Reimpresa en *Emerson's Complete Works*, vol. XI, Boston, Houghton, Mifflin & Co., 1887, p. 177.

[56] Thomas Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press, 1962. [Trad. cast.: *La estructura de las revoluciones científicas*, México, Fondo de Cultura Económica, 1971].

07

Vivir en un mundo de sistemas

«El verdadero problema con este mundo nuestro no es que sea irracional, ni siquiera que sea razonable. Lo más habitual es que sea prácticamente razonable, pero no del todo. La vida no carece por completo de lógica; sin embargo, es una trampa mortal para los expertos en lógica. Lo que sucede es que parece un poco más matemático y regular de lo que realmente es».

G. K. CHESTERTON, escritor del siglo XX[57]

La gente que ha crecido en nuestra sociedad industrial y recibe con entusiasmo la teoría de sistemas corre el riesgo de caer en un terrible error. Es probable que den por sentado que, en este ámbito, el del análisis de sistemas, el de la interconexión y la complejidad, el de los potentes ordenadores, en este espacio, por fin, se encuentra la clave de la previsión y el control. Este error se suele cometer porque la mentalidad del mundo industrial da por sentado que existe una clave para la previsión y el control.

Al principio yo también lo pensaba. Todos lo pensábamos cuando no éramos más que unos entusiastas estudiantes de esa prestigiosa institución llamada MIT. De una manera más o menos inocente, fascinados por lo que podíamos observar a través de nuestra nueva lente, caímos en el error en el que han caído tantos descubridores a lo largo de la historia: exageramos nuestros descubrimientos. Nuestra intención no era ni mucho menos engañar a los demás, sino expresar nuestras propias expectativas y esperanzas. La teoría de sistemas para nosotros era algo más que un juego sutil, complicado. Nos iba a ayudar a *hacer funcionar los sistemas*.

Como los descubridores que buscaban una nueva ruta para llegar a la India y se toparon con el hemisferio occidental, habíamos encontrado algo, pero no era lo que esperábamos. Era tan diferente de lo que habíamos estado buscando que no sabíamos qué hacer con ello. Cuando nos familiarizamos con la teoría de sistemas, nos dimos cuenta de que era más valiosa de lo que habíamos pensado, pero no en el sentido que creíamos.

Nuestra primera decepción fue comprobar que una cosa es entender cómo se arregla un sistema y otra muy distinta ponerse manos a la obra y arreglarlo. Tuvimos muchas discusiones sinceras sobre el tema de la «implementación», es decir, «los procedimientos destinados a conseguir que los directivos y los alcaldes y los ministros sigan nuestros consejos».

Lo cierto es que ni siquiera *nosotros* seguíamos nuestros propios consejos. Dictábamos conferencias sobre la estructura de las adicciones y seguíamos enganchados al café. Conocíamos a la

perfección la dinámica de la erosión de objetivos y permitíamos la erosión de nuestros propios planes de *footing*. Preveníamos a todo el mundo contra los peligros de las trampas de la escalada y el desplazamiento de la carga, y después caíamos en ellas en nuestros propios matrimonios.

Los sistemas sociales son la manifestación externa de las pautas de pensamiento cultural y de las necesidades, las emociones, los puntos fuertes y los puntos débiles de los humanos. Cambiarlos no es tan sencillo como decir: «Venga, a cambiarlo todo». No podemos confiar en que aquellos que conocen el camino del bien vayan a hacer el bien.

Nos enfrentábamos a otro problema. Nuestra visión de los sistemas nos ayudaba a explicar muchas cosas que no habíamos entendido hasta entonces, pero no servía para comprenderlo *todo*. De hecho, nos planteaba al menos la misma cantidad de preguntas que respondía. Al igual que las demás lentes que la humanidad ha desarrollado para asomarse a los macrocosmos y a los microcosmos, esta nos había permitido observar algunos fenómenos nuevos y maravillosos que, en muchos casos, encerraban misterios nuevos y maravillosos. Los misterios que nos permitió observar nuestra nueva herramienta se encuentran en un lugar muy profundo de la mente, del corazón y del alma de los humanos. Estas son solo algunas de las preguntas que nos planteó nuestra visión del funcionamiento de los sistemas.

La comprensión de los sistemas ¡puede generar muchas preguntas más!

Los teóricos de sistemas no son ni mucho menos los primeros ni los únicos que han planteado este tipo de preguntas. Cuando empezamos a formularlas, nos dimos cuenta de que existían disciplinas enteras, bibliotecas, historias que habían planteado las mismas preguntas y las habían respondido en cierta medida. El rasgo distintivo de nuestra investigación no son nuestras respuestas, ni siquiera nuestras preguntas, sino el hecho de que la teoría de sistemas, una herramienta derivada de la ingeniería y de las matemáticas que se apoya en la informática y se basa en la mentalidad mecanicista y en la búsqueda de la predicción y el control, ayuda a los que la utilizan, de una manera inexorable, a mi modo de ver, a enfrentarse con los misterios humanos más insondables. La teoría de sistemas permite comprender —incluso a los tecnócratas más comprometidos— que para moverse en este mundo integrado por sistemas complejos se necesita algo más que la tecnocracia.

Los sistemas que se organizan de manera autónoma, los sistemas no lineales, sometidos a procesos de retroalimentación, son intrínsecamente imprevisibles. No se pueden controlar. Solo se pueden comprender de una manera general. Predecir el futuro acertadamente y prepararnos para lo que nos pueda deparar es un objetivo

absolutamente irrealizable. Solo podemos conseguir que un sistema complejo se comporte exactamente como nosotros queremos temporalmente, en el mejor de los casos. Nunca llegaremos a entender el mundo por completo, no de la manera que nuestra ciencia reduccionista nos ha hecho creer. Nuestra ciencia, desde la física cuántica a la teoría matemática del caos, nos lleva a una incertidumbre irreductible. Para lograr cualquier objetivo que no sea el más trivial, no podemos optimizar; ni siquiera sabemos qué optimizar. No podemos tener todo en cuenta. No podremos encontrar una relación sostenible con la naturaleza, entre nosotros ni con las instituciones que creamos, si intentamos hacerlo desde el papel del conquistador omnisciente.

Si introducimos un nuevo bucle de retroalimentación en este punto de este sistema, lograremos una mejora significativa del comportamiento de este sistema. ¡Pero los responsables de las decisiones son refractarios a la información que necesitan! No le prestan atención, no le dan crédito, no saben interpretarla. criterios diferente

Si consiguiéramos dirigir este bucle de retroalimentación para que se situara en torno a ese valor, el sistema generaría un resultado que todo el mundo desea (no más energía, sino más servicios energéticos; autonomía y seguridad material en lugar de PNB; progreso en lugar de crecimiento). No es necesario cambiar los valores de nadie, solo conseguir que el sistema funcione en torno a unos valores reales. realescuantificar,

He aquí un sistema que parece perverso desde todos los puntos de vista. Genera ineficiencia, fealdad, degradación medioambiental y miseria humana. Pero si lo destruimos, nos quedaremos sin sistema. Nada nos parece más aterrador que eso (escribo esto pensando en el antiguo régimen comunista de la Unión Soviética, pero existen otros ejemplos). tecnologías, sistemas? cambiarlos

La gente involucrada en este sistema tolera un comportamiento nocivo porque tiene miedo al cambio. No confían en que se pueda encontrar un sistema mejor. Creen que no tienen capacidad para exigir o provocar una mejora.

¿Por qué la gente busca y clasifica la información de esa manera? ¿Qué criterios siguen para decidir qué se puede aprovechar y qué se debe rechazar; qué se puede tener en cuenta y qué se debe ignorar o menospreciar? ¿Cómo es posible que, ante la misma información, cada persona asimile un mensaje diferente y extraiga conclusiones distintas?

¿Qué son los valores? ¿De dónde proceden? ¿Son universales o dependen de cada cultura? ¿Por qué una persona o una sociedad renuncia a los «valores reales » y se conforma con sucedáneos baratos? ¿Cómo es posible que se ajuste un bucle de retroalimentación en función de una calidad que no se puede cuantificar, en lugar de ajustarlo en función de una cantidad que sí se puede calcular?

¿Por qué los periodos en los que la estructura se reduce al máximo y se amplía la libertad creativa nos parecen tan aterradores? ¿Cómo es posible que una

visión del mundo se propague hasta tal punto que las instituciones, las tecnologías, los sistemas de producción, los edificios, las ciudades se modelen según esa manera de ver el mundo? ¿Cómo se crean las culturas a partir de los sistemas? ¿Cómo se crean los sistemas a partir de las culturas? Una vez que se descubre que una cultura y un sistema son insuficientes, ¿es necesario cambiarlos a través del caos y la destrucción?

¿Por qué la gente se convence con tanta facilidad de que no puede hacer nada? ¿Por qué valoran con tanto cinismo su capacidad para hacer realidad sus sueños? ¿Por qué prestan más atención a los que les dicen que no

Para los que siguen asumiendo la identidad del conquistador

omnisciente, la incertidumbre que revela la teoría de sistemas es difícil de asimilar. Si no podemos comprender, predecir y controlar, ¿qué podemos hacer?

Podemos extraer otra conclusión de la teoría de sistemas, una conclusión obvia, paciente, resplandeciente, que se nos revela en cuanto nos quitamos la venda de la ilusión del control. La conclusión de que queda mucho por hacer y de que se trata de una «tarea» muy diferente. No podemos predecir el futuro, pero podemos imaginarlo e intentar darle vida con todo nuestro cariño. No podemos controlar los sistemas, pero podemos diseñarlos y rediseñarlos. No podemos avanzar a toda velocidad con certidumbre en un mundo sin sorpresas, pero podemos anticipar las sorpresas y aprender de ellas e incluso beneficiarnos de ellas. No podemos imponer nuestra voluntad a un sistema. Podemos prestar atención a lo que el sistema nos dice y descubrir que sus propiedades y nuestros valores pueden aunarse para alumbrar algo mucho mejor de lo que podríamos producir únicamente con nuestra voluntad.

No podemos controlar los sistemas ni descifrarlos. ¡Pero podemos bailar con ellos!

Yo eso ya lo sabía, en cierto modo. Había aprendido a bailar con las grandes fuerzas cuando bajaba en mi kayak por aguas bravas, cuando arreglaba el jardín, cuando tocaba un instrumento musical o cuando esquiaba. Para desempeñar todas esas actividades debemos mantenernos bien despiertos, prestar la máxima atención, involucrarnos al máximo y responder a los procesos de retroalimentación. Jamás se me había ocurrido pensar que esos mismos requisitos se pudieran aplicar al trabajo intelectual, a la administración, al gobierno, a la interacción con otras personas.

Pero ahí estaba ese mensaje que se desprendía de cada modelo informático que diseñábamos. Para vivir bien en un mundo de sistemas no basta con desarrollar nuestra capacidad de cálculo. Debemos invertir todas nuestras capacidades humanas: nuestra racionalidad, nuestra habilidad para distinguir lo verdadero de lo falso, nuestra intuición, nuestra compasión, nuestra visión y nuestra moralidad.[58]

Para terminar con este capítulo y con el libro, me gustaría intentar resumir los «saberes sistémicos» más generales que he adquirido gracias a mi experiencia personal en el ámbito del diseño de sistemas complejos y a mi colaboración con otros profesionales de este campo. Son las moralejas, los conceptos y las prácticas que se encuentran tan arraigados en la disciplina de los sistemas que decidimos trasladarlas, aun de manera imperfecta, a todos los aspectos de nuestra vida. Son las consecuencias conductuales de una visión del mundo basada en los procesos de retroalimentación, en los procesos no lineales y en la idea

de que los sistemas son responsables de su propio comportamiento. Estas son las diferencias que supo apreciar aquel catedrático de ingeniería de Dartmouth que decía que los que nos dedicábamos a los sistemas éramos «diferentes» y se preguntaba por qué.

Puede que no sea una lista definitiva, porque mi aprendizaje en la escuela de los sistemas aún no ha terminado. Y no es una lista exclusiva de la teoría de sistemas; se puede aprender a bailar de muchas maneras distintas. Pero aquí, como primera lección de baile, voy a presentar las prácticas que he visto adoptar a mis colegas, consciente o inconscientemente, cuando se enfrentan a un sistema nuevo.

Captar el ritmo del sistema

Antes de alterar un sistema de una u otra manera, hay que observar cómo se comporta. Si es una pieza musical, un río alborotado o la fluctuación del precio de un producto, debemos fijarnos en el ritmo. Si se trata de un sistema social, debemos observar su funcionamiento. Averiguar su historia. Preguntar a los mayores del lugar qué ha sucedido. Si es posible, debemos buscar o confeccionar un gráfico temporal con los datos reales del sistema: no siempre podemos fiarnos de los recuerdos de la gente cuando se trata de analizar el tiempo.

Esta directriz es engañosamente sencilla. Hasta que no la pongamos en práctica, no nos daremos cuenta de todos los giros en falso que nos puede ayudar a evitar. Utilizar el comportamiento del sistema como punto de partida nos obliga a centrarnos en los hechos, no en las teorías. Evita que caigamos antes de tiempo en nuestras propias creencias o errores, o en las creencias y los errores ajenos.

Es increíble la cantidad de ideas erróneas que podemos encontrar. Puede que la gente jure que cada vez llueve menos, por ejemplo, pero cuando observamos los datos, descubrimos que en realidad lo que sucede es que se ha producido un incremento de la variabilidad: las sequías son más severas, pero también las inundaciones. He hablado con personas que estaban totalmente convencidas de que el precio de la leche estaba subiendo cuando en realidad estaba bajando, que los tipos de interés estaban bajando cuando estaban subiendo, que el déficit representaba un porcentaje más elevado del PNB que nunca cuando no era cierto.

Resulta especialmente interesante observar si se producen correlaciones entre los distintos elementos de un sistema. Observar lo que sucede en realidad en lugar de escuchar las teorías de la gente puede servir para echar por tierra muchas hipótesis causales formuladas a la ligera. Todos los concejales del estado de Nuevo Hampshire parecen estar de acuerdo en que el crecimiento de una ciudad provocará una reducción de los impuestos, pero si trazamos un

gráfico que estudie la relación entre la tasa de crecimiento y los tipos impositivos, obtendremos una dispersión tan aleatoria como la disposición de las estrellas en el cielo invernal de Nuevo Hampshire. Es totalmente imposible discernir una relación.

Si tomamos el comportamiento del sistema como punto de partida, nos resultará más sencillo desarrollar un análisis dinámico, en lugar de un análisis estático. De esa forma, no nos limitaremos a intentar averiguar «¿Qué es lo que falla?», sino también «¿Cómo hemos llegado a esta situación?», «¿Qué otras formas de comportamiento son posibles?», «Si no cambiamos de dirección, ¿dónde terminaremos?». Y si observamos los puntos fuertes del sistema, podemos preguntar: «¿Qué es lo que funciona bien aquí?». Comenzar por la historia de unas cuantas variables interrelacionadas no solo nos permite vislumbrar qué elementos integran el sistema, sino cómo pueden estar interrelacionados.

Y, por último, si empezamos por la historia, podremos contrarrestar nuestra tendencia habitual y fastidiosa a ignorar la conducta real del sistema y definir el problema por oposición a nuestra solución predilecta. (El problema es que hay que encontrar más petróleo. El problema es que hay que prohibir el aborto. El problema es que no contamos con vendedores suficientes. El problema es cómo hacer que aumente el crecimiento en esta ciudad). Si prestamos atención a cualquier discusión, entre los miembros de nuestra familia o en una reunión del trabajo o entre los contertulios de los medios de comunicación, observaremos que la gente, por lo general, ofrece soluciones destinadas a «predecir, controlar o imponer su voluntad», sin prestar ninguna atención al comportamiento del sistema y al origen de ese comportamiento.

Sacar a la luz los modelos mentales

Cuando elaboramos diagramas estructurales y después escribimos ecuaciones, nos vemos obligados a sacar a la palestra nuestras hipótesis y a expresarlas con rigor. Tenemos que hacer explícitas todas nuestras hipótesis sobre el sistema en cuestión para que los demás (y nosotros mismos) podamos verlas. Tenemos que desarrollar modelos completos, con sentido, coherentes. No podemos permitir que nuestras hipótesis patinen (los modelos mentales son muy resbaladizos), defendiendo un argumento porque nos conviene para estudiar un fenómeno determinado y otro contradictorio para analizar el siguiente.

No es imprescindible presentar nuestros modelos mentales con diagramas y ecuaciones, pero resulta bastante práctico. Podemos utilizar palabras, listas, dibujos o flechas que muestren las relaciones hipotéticas entre los distintos elementos. Cuanto más insistamos en ese

tipo de procedimientos, más se aclararán nuestras ideas; reconoceremos nuestras incertidumbres, corregiremos nuestros errores y aprenderemos a comportarnos de una manera más flexible. La flexibilidad mental —la disposición a redibujar las fronteras, a reconocer que el sistema ha cambiado de forma, a considerar la posibilidad de rediseñar su estructura— es imprescindible para movernos en un mundo de sistemas flexibles.

No debemos olvidar en ningún momento que todo nuestro conocimiento no es más que un modelo. Debemos sacar nuestro modelo a la palestra para que todo el mundo pueda verlo. Animar a los demás a poner en entredicho nuestras hipótesis y a aportar las suyas. En lugar de defender a capa y espada una única explicación, teoría o modelo, debemos recopilar las que podamos y considerar que todas pueden ser plausibles hasta que encontremos una prueba que nos obligue a descartarlas. De ese modo, estaremos preparados emocionalmente para aceptar las pruebas que contradicen una hipótesis que podría llegar a confundirse con nuestros propios intereses.

Sacar los modelos a la luz, dotarlos del máximo rigor, contrastarlos con las pruebas y estar dispuestos a echarlos por tierra cuando dejan de ser viables no es más que poner en práctica el método científico, un método que casi nunca se utiliza, ni siquiera en el ámbito de la ciencia, y mucho menos en el de las ciencias sociales, en el de la administración de empresas, en el de los gobiernos o en la vida cotidiana.

Honrar, respetar y difundir la información

Hemos visto que la información hace que los sistemas se mantengan unidos, y que los retrasos, la manipulación, la dispersión o la pérdida de información pueden provocar un funcionamiento defectuoso de los bucles de retroalimentación. Una persona que debe tomar una decisión no puede responder a una información que no posee, a una información imprecisa, ni puede reaccionar puntualmente a una información que le llega con retraso. Me atrevería a decir que la mayor parte de los fallos de los sistemas se pueden atribuir a la manipulación, al retraso o a la pérdida de información.

Si me dejaran, añadiría un undécimo mandamiento a los diez primeros*: No distorsionarás, retrasarás o retendrás la información*. Podemos conseguir que un sistema enloquezca si ensuciamos sus canales de información. Podemos mejorar el funcionamiento de un sistema de una manera increíblemente sencilla con una información más puntual, precisa y completa.

En 1986, por ejemplo, se aprobó una nueva ley federal, el Inventario de Emisiones Tóxicas, que obligaba a las compañías

estadounidenses a elaborar un informe anual en el que detallaran la totalidad de las sustancias contaminantes que emitían sus fábricas. Gracias a la Ley de Libertad de Información (una de las leyes más importantes que se han aprobado en esta nación, desde el punto de vista de la teoría de sistemas), esa información se convirtió en una cuestión de dominio público. En julio de 1988 se publicaron los primeros datos de emisiones químicas. Según los informes, las emisiones estaban dentro de la legalidad, pero empezaron a aparecer en los periódicos listas de «las diez empresas locales que más contaminan», que no favorecían precisamente la imagen de esas corporaciones. Y con eso fue suficiente. No hubo demandas, no se exigieron reducciones ni se impusieron multas ni sanciones. Pero dos años después las emisiones químicas de la nación (al menos las que se publicaron en los informes, y es de suponer que también las emisiones reales) se habían reducido en un 40%. Algunas compañías pusieron en marcha medidas para reducir sus emisiones en un 90%, y todo eso se consiguió gracias a la difusión pública de una información que hasta entonces había permanecido oculta.[59]

La información es poder. Todas las personas interesadas en el poder lo saben. Los medios de comunicación, los profesionales de las relaciones públicas, los políticos y los publicistas que regulan en gran medida el flujo de información pública son mucho más poderosos de lo que la gente piensa. Filtran y canalizan la información. A menudo lo hacen con fines egoístas, para obtener beneficios a corto plazo. No es de extrañar que nuestros sistemas sociales enloquezcan con tanta frecuencia.

Utilizar el lenguaje con precisión y enriquecerlo con conceptos sistémicos

El elemento fundamental de nuestros flujos de información es el lenguaje. Nuestros modelos mentales son en esencia modelos verbales. Para ser fieles a la información debemos, en primer lugar, evitar la contaminación del lenguaje: utilizar el lenguaje de la manera más clara que podamos. Y, en segundo lugar, ampliar nuestro lenguaje para poder expresar la complejidad.

Fred Kofman escribió lo siguiente en una revista de sistemas:

> [El lenguaje] puede convertirse en un medio que permite crear nuevas interpretaciones y nuevas realidades en cuanto empezamos a hablar de ellas. De hecho, no hablamos de lo que vemos; *solo vemos aquello de lo que podemos hablar*. Nuestra perspectiva del mundo depende de la interacción entre nuestro sistema nervioso y nuestro lenguaje: percibimos nuestro mundo a través de esos dos filtros. […] El sistema del lenguaje y el sistema de información de una organización no son medios objetivos que describen una realidad exterior: estructuran esencialmente las percepciones y las acciones de sus miembros. Remodelar los sistemas de cálculo y de comunicación de una [sociedad] equivale a remodelar todas las interacciones potenciales al nivel más fundamental. El lenguaje […] en cuanto articulación de la realidad es más importante que la estrategia, la estructura o […] la cultura.[60]

Una sociedad que habla incesantemente de «productividad», pero que apenas entiende la palabra «resiliencia», y la utiliza aún menos, se acabará convirtiendo en una sociedad productiva y no resiliente. Una sociedad que no comprende ni utiliza el término «capacidad de carga» acabará sobrepasando su capacidad de carga. Una sociedad que habla de la «creación de empleo» como si fuera algo que solo las empresas pueden hacer, no animará a la mayoría de sus miembros a crear empleo, para ellos o para otras personas. Tampoco valorará a sus trabajadores por su aportación a la «obtención de beneficios». Y, por supuesto, una sociedad que habla de un misil «pacificador» o de «daños colaterales», de la «solución final» o de la «limpieza étnica», habla una lengua que Wendell Berry definía como «tiranés»:

> Tengo la sensación de que, en los últimos ciento cincuenta años o así, se ha producido un incremento gradual de un tipo de lenguaje que bien carece de significado o bien posee un significado destructivo. Y creo que este incremento de la falta de confianza en el lenguaje guarda cierta relación con el incremento de la destrucción de personas y comunidades que ha tenido lugar en el mismo periodo.

Y prosigue:

> En este proceso degenerativo, el lenguaje ha perdido prácticamente su capacidad de designación, porque se utiliza conscientemente para no referirse a ninguna cosa en particular. La atención se centra en los porcentajes, las categorías, las funciones abstractas. […] No es un lenguaje que exija la atención ni la intervención del que lo usa, pues no define ningún terreno personal de atención o intervención. Su única utilidad práctica se reduce a apoyar con «opinión experta» una enorme e impersonal acción tecnológica que está en marcha. […] Es un lenguaje tiránico: el tiranés.[61]

Lo primero que debemos hacer para respetar el lenguaje es lograr que conserve la máxima concreción, elocuencia y veracidad: una parte de la tarea de mantener despejados los canales de información. Lo segundo, ampliar el lenguaje para que pueda adaptarse a la expansión del conocimiento que favorece la teoría de sistemas. Si los esquimales poseen tantas palabras para describir la nieve es porque la han estudiado y han aprendido a utilizarla. Han convertido la nieve en un recurso, un sistema con el cual pueden bailar. La sociedad industrial empieza ahora a acuñar y a utilizar términos para definir los sistemas, porque hasta ahora no había prestado atención ni había explotado la complejidad. *Capacidad de carga, estructura*, *diversidad* e incluso *sistema* son palabras antiguas que empiezan a adquirir un significado más rico y preciso. Es indudable que habrá que inventar nuevas palabras.

Mi procesador de textos tiene una función de corrección ortográfica que me permite añadir palabras que en un principio no figuraban en su extenso diccionario. Es interesante observar cuáles son las palabras y expresiones que he tenido que incorporar para poder escribir este libro: *retroalimentación*, *transflujo*, *sobreexplotación*, *organización autónoma*, *sostenibilidad*.

Prestar atención a lo importante, no solo a lo que se puede

cuantificar

Nuestra cultura, obsesionada con los números, nos ha transmitido la idea de que lo que podemos medir es más importante que lo que no podemos medir. Reflexionad un minuto sobre ello. Significa que, para nosotros, la cantidad es más importante que la calidad. Si la cantidad constituye el objetivo de nuestros bucles de retroalimentación, si la cantidad es el objeto de nuestra atención, de nuestro lenguaje y de nuestras instituciones; si nos motivamos, nos clasificamos y nos recompensamos según nuestra capacidad para producir mayor cantidad, entonces el resultado que obtendremos será un incremento de la cantidad. Podéis mirar a vuestro alrededor y decidir si la característica más destacada del mundo en el que vivís es la cantidad o la calidad.

En más de una ocasión, los teóricos de sistemas hemos sido objeto de las burlas de otros científicos por introducir variables como los «prejuicios», la «autoestima» o la «calidad de vida» en los modelos que hemos diseñado. Dado que los ordenadores solo funcionan con números, hemos tenido que inventar escalas cuantitativas para medir esos conceptos cualitativos. «Supongamos que los prejuicios se pueden medir en una escala que va del -10 al +10, en la que 0 significa que no existen los prejuicios, -10 representa un prejuicio negativo extremo y +10 un prejuicio tan positivo que resulta inconfundible. Ahora, supongamos que nos tratan con un -2 de prejuicios, o con un +5, o con un -8. ¿Cómo influiría en cada caso ese grado de prejuicios en nuestro rendimiento laboral?».

En cierta ocasión, en efecto, se introdujo en un modelo la relación entre los prejuicios y el rendimiento laboral.[62] Se trataba de un estudio para una compañía que quería determinar cómo mejorar el trato a los trabajadores que pertenecían a alguna minoría para conseguir que ascendieran en la empresa. Todos los entrevistados estaban de acuerdo en que existía una relación real entre los prejuicios y el rendimiento laboral. La escala empleada para medirlos era arbitraria —daba igual valorarlo de 1 a 5 o de 0 a 100—, pero habría sido mucho menos científico no valorar los «prejuicios» que incluirlos en el estudio. Cuando se pidió a los trabajadores de la empresa que establecieran una relación entre su rendimiento y los prejuicios, la relación resultante fue una de las menos lineales que he visto en un modelo.

Si fingimos que algo no existe porque es difícil de cuantificar obtendremos un modelo defectuoso. Ya hemos visto que, cuando se fijan los objetivos en torno a algo que resulta sencillo cuantificar, en lugar de tener en cuenta lo importante, acabamos cayendo en una de las trampas de los sistemas. Evitémoslo. Los seres humanos no solo sabemos contar, sino también evaluar la calidad. Debemos

convertirnos en detectores de calidad, en ruidosos contadores Geiger que registran la presencia o la ausencia de calidad.

Si vemos algo feo, debemos decirlo. Si vemos algo hortera, inapropiado, desproporcionado, insostenible, moralmente degradante, perjudicial para el medio ambiente o degradante desde el punto de vista humano, no debemos tolerarlo. Que no nos detenga aquello de «si algo no se puede definir ni medir, no es necesario tenerlo en cuenta». Nadie puede definir ni medir la justicia, la democracia, la seguridad, la libertad, la verdad ni el amor. Nadie puede definir ni medir un valor moral. Pero si no somos capaces de darles voz, si no diseñamos los sistemas para favorecerlos, si no hablamos de ellos ni indicamos su presencia o su ausencia, dejarán de existir.

Crear políticas de retroalimentación para los sistemas de retroalimentación

El presidente Jimmy Carter poseía una insólita capacidad para observar la realidad desde la óptica de los procesos de retroalimentación y para crear políticas de retroalimentación. Por desgracia, lo pasaba muy mal cuando tenía que explicárselas a la prensa y al público, que no comprendían este tipo de procesos.

En un momento en que las importaciones de petróleo eran cada vez mayores, propuso gravar la gasolina con un impuesto proporcional a la fracción de consumo de petróleo que importaban los estadounidenses. Si las importaciones seguían incrementándose, el impuesto subiría hasta que se frenara la demanda y se presentaran sustitutos y se redujeran las importaciones. Si las importaciones se reducían a cero, el impuesto se reduciría a cero.

Ese impuesto nunca llegó a aprobarse.

Carter también intentó enfrentarse a una gran oleada de inmigración ilegal procedente de México. A su modo de ver, la inmigración no se interrumpiría mientras existiera un profundo desajuste entre las oportunidades y el nivel de vida de Estados Unidos y de México. En lugar de invertir en guardias fronterizos y en barreras, decía, había que intentar favorecer el desarrollo de la economía mexicana hasta que se frenara la inmigración.

Esa medida tampoco se llevó a la práctica.

No es difícil imaginar por qué un sistema de retroalimentación dinámico, capaz de regularse a sí mismo, no puede someterse a una política estática, inflexible. Es más fácil, más efectivo y por lo general mucho más barato diseñar políticas que cambian dependiendo del estado del sistema. En épocas de gran incertidumbre, sobre todo, las mejores políticas son aquellas que no solo contienen bucles de retroalimentación, sino bucles de meta-retroalimentación: bucles que alteran, corrigen y amplían otros bucles. Se trata de políticas que

introducen el *aprendizaje* en el proceso de gestión.

Un buen ejemplo es el del histórico Protocolo de Montreal, diseñado para proteger la capa de ozono de la estratosfera. En 1987, cuando se firmó el protocolo, aún no disponíamos de datos fiables en relación con los daños en la capa de ozono, con el ritmo de degradación o los efectos específicos de diferentes sustancias químicas. El protocolo estableció una serie de objetivos para disminuir el ritmo de producción de las sustancias químicas más nocivas. Pero también se especificaba la necesidad de supervisar la situación y convocar un congreso internacional para cambiar el calendario de retirada progresiva si se observaba que los daños en la capa de ozono se incrementaban o se reducían a un ritmo diferente del previsto. Solo tres años después, en 1990, se aceleró el calendario y se incluyeron nuevas sustancias químicas en la lista, porque se descubrió que los daños eran muy superiores a los que se habían previsto en 1987.

Se trata de una política de retroalimentación estructurada para el aprendizaje. Todos esperamos que funcione a tiempo.

Buscar el beneficio del conjunto del sistema

No debemos olvidar que las jerarquías se inventaron para ayudar a los estratos inferiores, no a los superiores. No conviene maximizar algunas partes de los sistemas o de los subsistemas e ignorar al conjunto del sistema. Como decía Kenneth Boulding, no conviene molestarse demasiado en optimizar algo que nunca debería haberse hecho. Debemos intentar mejorar las propiedades generales del sistema, como el crecimiento, la estabilidad, la diversidad, la resiliencia y la sostenibilidad, sin tener en cuenta si es fácil medirlas o no.

Prestar atención a la sabiduría del sistema

Es necesario respaldar y estimular las fuerzas y las estructuras que ayudan a autogestionarse al sistema. No debemos pasar por alto que muchas de esas fuerzas y estructuras se encuentran en la base de la jerarquía. No debemos intervenir inconscientemente y destruir la capacidad de mantenimiento del propio sistema. Antes de abalanzarnos sobre el sistema para mejorarlo, es necesario prestar atención a los elementos valiosos que ya poseía.

Un amigo mío, Nathan Gray, estuvo trabajando como cooperante en Guatemala. Se sentía muy frustrado, porque algunas organizaciones llegaban con la intención de «crear trabajo» e «incrementar la capacidad empresarial» y «atraer a inversores exteriores» y pasaban de largo por el próspero mercado de la ciudad, donde todo tipo de pequeños comerciantes, desde los cesteros a los agricultores, desde los carniceros a los vendedores de chucherías, ya habían conseguido incrementar su capacidad empresarial en trabajos creados por ellos

mismos. Nathan, sin embargo, se pasaba el día hablando con la gente del mercado. Intentaba averiguar cómo vivían y cómo trabajaban para entender por qué esos negocios prosperaban y obtenían beneficios. Llegó a la conclusión de que no se necesitaban inversiones exteriores, sino interiores. Si se concedían pequeños préstamos con unos tipos de interés razonables, se alfabetizaba a la población y se ofrecían clases de contabilidad, se generaría un beneficio para la comunidad muy superior al que se podía obtener con la construcción de una fábrica o una planta de montaje con capital extranjero.

Localizar la responsabilidad en el sistema

Es una pauta que se puede aplicar igualmente al análisis y al diseño de sistemas. En el primer caso, consiste en diferenciar las distintas maneras en que el sistema crea su propio comportamiento. Debemos prestar atención a los sucesos determinantes, las influencias exteriores que dan lugar a un tipo de comportamiento en detrimento de otro. A veces esos sucesos exteriores se pueden controlar (como cuando se reducen los patógenos del agua potable para contener la incidencia de las enfermedades infecciosas). Pero otras veces es imposible. Y en algunas ocasiones echar la culpa a las influencias exteriores o tratar de controlarlas nos ciega y nos impide llevar a cabo la tarea mucho más sencilla de incrementar la responsabilidad dentro del sistema.

Cuando hablo de «responsabilidad intrínseca» me refiero a que el sistema ha sido diseñado para transmitir a los responsables de las decisiones información relacionada con las consecuencias de esas decisiones de forma rápida, directa y persuasiva. En un avión, el piloto que viaja en la parte delantera es el responsable intrínseco, y sufrirá directamente las consecuencias de sus propias decisiones.

El Dartmouth College redujo su responsabilidad intrínseca cuando retiró los termostatos de los despachos de los profesores y de las clases y puso en manos de un ordenador central las decisiones relacionadas con el control de la temperatura. Se trataba de una medida de ahorro de energía. Desde uno de los estratos inferiores de la jerarquía, yo observé que la consecuencia principal fue un aumento en las oscilaciones de la temperatura de la habitación. Cuando hacía demasiado calor en mi despacho, en lugar de bajar el termostato, tenía que llamar a un departamento situado en el otro extremo del campus. Allí corregían los desajustes cada varias horas o cada día, se equivocaban a menudo, y esos errores daban lugar a nuevas llamadas telefónicas. Una manera de aumentar la responsabilidad de ese sistema, en lugar de reducirla, habría sido delegar en los profesores el control de sus propios termostatos y descontarles del sueldo la cantidad de energía que consumían, privatizando así un recurso común.

Diseñar un sistema pensando en la responsabilidad intrínseca equivaldría, por ejemplo, a obligar a todas las ciudades o compañías que vierten aguas residuales en un río a colocar las tuberías de toma de agua *por debajo* de la tubería de desagüe. O a que ninguna compañía de seguros y ningún fondo público cargara con los costes médicos derivados del tabaquismo o de los accidentes de los motociclistas sin casco o de los conductores que viajan sin cinturón de seguridad. Equivaldría a prohibir al Congreso la aprobación de leyes de las que sus miembros se encuentran exentos (el Congreso ha aprobado muchas leyes de este tipo, como los requisitos de discriminación positiva en la contratación de trabajadores y la obligación de redactar declaraciones de impacto ambiental). La responsabilidad sufrió un duro revés cuando los gobernantes que declaraban la guerra a otra nación dejaron de liderar a sus ejércitos en el campo de batalla. La responsabilidad de la guerra se redujo aún más cuando la tecnología permitió que, apretando un botón, se provocaran daños incalculables a una distancia tan grande que el responsable jamás contempla las consecuencias de su decisión.

Según Garrett Hardin, si las personas contrarias al aborto asumieran su responsabilidad intrínseca, tendrían que estar dispuestas a criar a los hijos de las personas que quieren abortar.[63]

Espero que estos ejemplos basten para animaros a reflexionar sobre la poca atención que le presta nuestra cultura a la responsabilidad de los sistemas que generan acciones, y sobre el diseño defectuoso de aquellos sistemas que no permiten que la gente sufra las consecuencias de sus acciones.

No perder la humildad: no dejar de aprender

La teoría de sistemas me ha enseñado a confiar más en mi intuición que en mi capacidad racional para resolver problemas, a sacar el máximo partido de las dos y a estar preparada para todo tipo de sorpresas. Trabajar con sistemas, en el ordenador, en la naturaleza, en interacción con otros seres humanos, en cualquier organización, es un recordatorio constante de la imperfección de mis modelos mentales, la complejidad del mundo y la limitación de mis conocimientos.

Los ignorantes no podemos permitirnos tirarnos faroles ni quedarnos parados: tenemos que aprender. Y para aprender hay que experimentar. O, como decía Buckminster Fuller, utilizar el método del ensayo y error, error, error. En un mundo de sistemas complejos, no podemos sobrecargarnos de reglas rígidas e inflexibles. «Seguir avanzando» solo es una buena idea si conocemos nuestro destino. Fingir que lo tenemos todo bajo control, aunque no sea cierto, es una receta que no solo conduce al error, sino a no aprender de las equivocaciones. Para aprender, lo mejor es avanzar a pasos cortos,

permanecer atento en todo momento y estar dispuesto a cambiar de dirección cuando tengamos más claro hacia dónde nos dirigimos.

Es una tarea difícil. Hay que equivocarse muchas veces y, lo que es peor, reconocerlo. Hay que «aceptar el error», como dice el psicólogo Don Michaels. Y eso exige una buena dosis de valentía.

> Ni nosotros, ni nuestros colegas, ni los organismos públicos que deben involucrarse […] sabremos determinar lo que está sucediendo y lo que debería suceder si nos comportamos como si conociéramos la verdad, como si tuviéramos la certeza de cuáles son los problemas, como si supiéramos exactamente qué resultados deben/pueden obtenerse, y poseyéramos la certidumbre absoluta de que vamos por el buen camino. Es más, lo único que conseguimos cuando abordamos problemas sociales complejos y nos comportamos como si supiéramos lo que hacemos, es reducir nuestra credibilidad. […] La desconfianza que generan las instituciones y los representantes de la autoridad es cada vez mayor. El mero acto de reconocer nuestra ignorancia podría contribuir en gran medida a revertir esta tendencia que va de mal en peor.[64]

> La aceptación del error es una condición necesaria para el aprendizaje. Nos anima a buscar y a utilizar —y a compartir— información para intentar entender por qué nuestras teorías y nuestras expectativas han fracasado. Tanto la aceptación del error como la convivencia con un elevado grado de incertidumbre subrayan nuestra vulnerabilidad como individuos y como sociedad. Tendemos por naturaleza a ocultar nuestros puntos débiles en privado y en público. Pero […] si verdaderamente queremos aceptar nuestra responsabilidad […] necesitamos desarrollar un conocimiento de nuestra identidad muy superior al que posee la mayoría de los miembros de nuestra sociedad.[65]

Celebrar la complejidad

Aceptémoslo: el universo es caótico. Está plagado de relaciones no lineales, es turbulento y dinámico. Mantiene constantemente comportamientos transitorios mientras avanza hacia otro lugar, no sigue un equilibrio matemático definido. Se organiza de manera autónoma y evoluciona. Genera diversidad *y* uniformidad. Por eso el mundo resulta tan interesante, por eso es tan hermoso y por eso funciona.

Por alguna razón, la mente humana prefiere las líneas rectas a las curvas, los números enteros a las fracciones, la uniformidad a la diversidad y la certidumbre al misterio. Pero hay algo más en nuestra naturaleza que sigue una tendencia opuesta, pues hemos evolucionado, nos hemos modelado y nos hemos estructurado a partir de sistemas de retroalimentación complejos. Una parte de nosotros, que se ha desarrollado hace muy poco tiempo, diseña edificios cuadrados con líneas rectas y superficies planas. Otra comprende instintivamente que la naturaleza utiliza fractales para diseñar sus formas con todo lujo de detalles, en cualquier escala, desde las formas microscópicas a las macroscópicas. Esa parte de los humanos es la responsable de la creación de las catedrales góticas y las alfombras persas; las sinfonías y las novelas; los disfraces de Mardi Gras y los proyectos de inteligencia artificial, que utilizan adornos casi tan complejos como los que podemos encontrar a nuestro alrededor.

Podemos celebrar y estimular la organización autónoma, el desorden, la variedad y la diversidad, y algunos lo hacemos, de hecho. Algunos humanos, incluso, hemos convertido esta actitud en un código moral, como hizo Aldo Leopold con su ética de la tierra: «Lo que está bien es lo que tiende a preservar la integridad, la estabilidad y la belleza de la comunidad biótica; lo que tiende a lo contrario está mal».[66]

Ampliar los horizontes temporales

Una de las peores ideas que se le han ocurrido a la humanidad a lo largo de su historia ha sido la invención de los tipos de interés, que ha dado lugar a los conceptos de «periodo de amortización» y de «tasa de descuento», nociones que ofrecen una justificación racional, cuantitativa para ignorar las consecuencias a largo plazo.

El horizonte temporal oficial de la sociedad industrial no se extiende más allá de lo que sucederá después de las próximas elecciones o del periodo de amortización de las inversiones actuales. El horizonte temporal de la mayoría de las familias se extiende un poco más allá: hasta la esperanza de vida de los hijos o de los nietos. Muchas culturas americanas autóctonas tenían en cuenta los efectos que ejercería una decisión determinada sobre la séptima generación venidera. A mayor amplitud del horizonte temporal operativo, mayores posibilidades de supervivencia. Como escribió Kenneth Boulding:

> Existen numerosos ejemplos históricos que demuestran que una sociedad que deja de identificarse con la posteridad y la imagen positiva del futuro pierde también su capacidad para afrontar los problemas actuales y no tarda en desintegrarse. […] Siempre ha habido algo reconfortante en la idea de que deberíamos vivir como los pájaros, y quizá la posteridad les pertenece a los pájaros en más de un sentido; así que quizá deberíamos […] dedicarnos a contaminar alegremente. Sin embargo, pienso en el mañana y no puedo aceptar esa solución.[67]

Desde el punto de vista de la teoría de sistemas, en sentido estricto, no existe diferencia alguna entre los procesos a corto y a largo plazo. Los fenómenos que tienen lugar en diferentes escalas temporales se anidan unos dentro de otros. Las medidas que tomemos ahora tendrán unos efectos inmediatos y otros que se revelarán en las próximas décadas. En el momento actual experimentamos las consecuencias de las medidas que se pusieron en marcha ayer y las que se tomaron décadas o siglos atrás. A veces, los procesos rápidos y los procesos lentos guardan una relación muy estrecha, y otras, más flexible. Cuando se imponen los procesos lentos, parece que no está sucediendo nada; cuando los procesos rápidos se hacen con el dominio, todo sucede a una velocidad pasmosa. Los sistemas se emparejan y se desemparejan constantemente, los grandes y los pequeños, los rápidos y los lentos.

Cuando avanzamos por un camino espinoso, sinuoso, desconocido, sorprendente, sembrado de obstáculos, no podemos cometer la

estupidez de avanzar mirando al suelo, pendientes únicamente del siguiente paso. Sería igual de estúpido mirar a lo lejos sin reparar en lo que tenemos justo debajo de los pies. Debemos prestar atención tanto a los procesos a corto plazo como a los procesos a largo plazo: a la totalidad del sistema.

Traspasar las fronteras de las disciplinas

No importa cuál sea nuestra especialidad, ni lo que digan los manuales ni el ámbito en el que nos consideramos expertos: debemos dejarnos llevar por los sistemas. Seguramente nos obligarán a traspasar las fronteras tradicionales que separan unas disciplinas de otras. Para entender un sistema determinado, tendremos que estar dispuestos a aprender de los economistas y los químicos, de los psicólogos y de los teólogos, sin dejarnos limitar por esas disciplinas. Tendremos que sumergirnos en sus jergas, asimilar lo que nos expliquen, identificar lo que pueden mostrarnos en rigor a través de cada una de sus lentes y descartar las distorsiones derivadas de la estrechez y la imperfección de esas ópticas. No nos lo van a poner fácil.

Para apreciar la totalidad del sistema, la «interdisciplinariedad» no es suficiente, si interpretamos esta expresión, como suele ser habitual, como la disposición a reunir a expertos de diferentes disciplinas y dejar que cada uno suelte su rollo sin escuchar a los demás. La comunicación interdisciplinaria solo funciona cuando existe un problema real que resolver y los representantes de distintas disciplinas están más concentrados en solucionar el problema que en la corrección académica. Deben mostrar una buena disposición para aprender. Para reconocer su ignorancia y aceptar lo que sus colegas y el sistema les puedan enseñar.

Se puede hacer. Y cuando sucede, resulta muy emocionante.

Ampliar la frontera de la responsabilidad

Para sobrevivir en un mundo de sistemas complejos, no solo necesitamos ampliar los horizontes temporales e intelectuales; ante todo, es necesario ampliar los horizontes de la responsabilidad. Existen motivos morales para hacerlo, por supuesto. Y si los argumentos morales no bastan, entonces la teoría de sistemas nos puede aportar las razones prácticas que refuerzan las razones morales. En el mundo real, los sistemas se encuentran interrelacionados. Todas las partes de la especie humana están conectadas con otros seres humanos y con el ecosistema global. En este mundo integrado, nuestro corazón no puede seguir funcionando si nos fallan los pulmones, y una empresa no puede prosperar si le fallan los trabajadores, y los ricos de Los Ángeles no pueden enriquecerse si les fallan los pobres de Los Ángeles, y Europa no puede salir adelante si le falla África, y la economía global no puede progresar si le falla el medio ambiente

global.

Como siempre sucede en el ámbito de la teoría de sistemas, la mayoría de la gente ya sabe que existen ciertas interconexiones entre las reglas prácticas y las reglas morales que permiten identificar unas con otras. Solo falta que tomen conciencia de lo que ya saben.

No erosionar el objetivo de la bondad

El ejemplo más nocivo del arquetipo sistémico de la «deriva hacia el rendimiento bajo» es el proceso que ha llevado a la cultura moderna industrial a erosionar el objetivo de la moralidad. El modelo clásico de esta trampa ha funcionado a la perfección, con consecuencias aterradoras.

Los comportamientos humanos negativos se consideran habituales. Los medios de comunicación los magnifican y se aceptan culturalmente. ¿Qué podemos esperar? A fin de cuentas, solo somos humanos. Los ejemplos positivos, mucho más numerosos, prácticamente pasan desapercibidos. «No son noticia». Son excepciones. Milagros obrados por algún santo. No podemos esperar que todo el mundo se comporte de esa manera.

Y, poco a poco, se van rebajando las expectativas. El desajuste entre el comportamiento deseado y el comportamiento real se reduce. Cada vez se toman menos medidas para afirmar e inculcar nuestros ideales. El discurso público está cargado de cinismo. Los líderes públicos son visible e impenitentemente amorales o inmorales y nadie les pide cuentas. El idealismo se ridiculiza. Si alguien habla de sus convicciones morales, se le considera sospechoso. Resulta mucho más fácil hablar en público de odio que de amor. Así lo expresaba el crítico literario y naturalista Joseph Wood Krutch:

> Así, aunque el hombre nunca se ha mostrado tan satisfecho con lo que *posee* ni ha confiado tanto en su capacidad para *lograr* cualquier cosa que se proponga, lo cierto es que, al mismo tiempo, nunca antes había tenido un concepto tan bajo de su *naturaleza*. Ese mismo método científico que le ha permitido generar su riqueza y dar rienda suelta al poder que detenta, permite, a su modo de ver, a la biología y a la psicología justificarle, o al menos justificar lo que era único de su especie o incluso en cierto sentido misterioso. […] Lo cierto es que es, a pesar de toda su riqueza y de todo su poder, pobre de espíritu.[68]

Sabemos cómo se soluciona la deriva hacia el rendimiento bajo. No debemos conceder más peso a las malas noticias que a las buenas. Y ceñirnos a unos criterios absolutos.

La teoría de sistemas solo nos puede decir lo que tenemos que hacer. Pero no puede hacerlo. Nos enfrentamos de nuevo a la brecha que separa la comprensión de la aplicación. La teoría de sistemas por sí sola no puede salvar esa brecha, pero puede llevarnos al límite de lo que el análisis puede hacer y apuntar más allá: a lo que el espíritu humano puede y debe hacer.

[57] G. K. Chesterton, *Orthodoxy*, Nueva York, Dodd, Mead and Co., 1927. [Trad. cast.: *Ortodoxia*, Barcelona, El Acantilado, 2013].

[58] Para un hermoso ejemplo de combinación de teoría de sistemas y otras cualidades humanas en el campo de la dirección y administración de empresas, véase Peter Senge, *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*, Nueva York, Doubleday, 1990. [Trad. cast.: *La quinta disciplina*, Buenos Aires, Granica, 2004].

[59] Philip Abelson, «Major Changes in the Chemical Industry», *Science* 255, núm. 5051, 20 de marzo de 1992, p. 1.489.

[60] Fred Kofman, «Double-Loop Accounting: A Language for the Learning Organization», *The Systems Thinker* 3, núm. 1 (febrero de 1992).

[61] Wendell Berry, *Standing by Words*, San Francisco, North Point Press, 1983, pp. 24, 52.

[62] Esta historia me la contó Ed Roberts, de Pugh-Roberts Associates.

[63] Garrett Hardin, *Exploring New Ethics for Survival: the Voyage of the Spaceship Beagle*, Nueva York, Penguin Books, 1976, p. 10.

[64] Donald N. Michael, «Competences and Compassion in an Age of Uncertainty», *World Future Society Bulletin* (enero/febrero de 1983).

[65] Donald N. Michael, se cita en H. A. Linstone y W. H. C. Simmonds. eds., *Futures Research*, Reading, Massachusetts, Addison-Wesley, 1977, pp. 98-99.

[66] Aldo Leopold, *A Sand County Almanac and Sketches Here and There*, Nueva York, Oxford University Press, 1968, pp. 224-225.

[67] Kenneth Boulding, «The Economics of the Coming Spaceship Earth», en H. Jarrett, ed., *Environmental Quality in a Growing Economy: Essays from the Sixth Resources for the Future Forum*, Baltimore, Maryland, Johns Hopkins University Press, 1966, pp. 11-12.

[68] Joseph Wood Krutch, *Human Nature and the Human Condition*, Nueva York, Random House, 1959.

Bibliografía de recursos de teoría de sistemas

Además de las obras citadas en las notas, a continuación ofrecemos una lista de recursos que pueden servir de punto de partida para buscar otras formas de ver y maneras de aprender la teoría de sistemas. El ámbito de la teoría de sistemas y de la dinámica de sistemas es en la actualidad muy extenso y abarca numerosas disciplinas. Para más recursos, se puede consultar además la página www.ThinkingInSystems.org

Teoría y modelización de sistemas

Libros

Bossel, Hartmut, *Systems and Models: Complexity, Dynamics, Evolution, Sustainability*, Norderstedt, Alemania, Books on Demand, 2007. Un manual muy completo en el que se presentan los conceptos y los enfoques fundamentales para entender y construir modelos de los complejos sistemas que dan forma a la dinámica de nuestro mundo. Incluye una amplia bibliografía sobre la teoría de sistemas.

Bossel, Hartmut, *System Zoo Simulation Models. Vol. 1: Elementary Systems, Physics, Engineering; Vol. 2: Climate, Ecosystems, Resources; Vol. 3: Economy, Society, Development*, Norderstedt, Alemania, Books on Demand, 2007. Una recopilación de más de cien modelos de simulación de sistemas dinámicos de todos los campos de la ciencia, con documentación completa sobre modelos, resultados, ejercicios y modelos de simulación que se pueden descargar gratuitamente.

Forrester, Jay, *Principles of Systems*, Cambridge, Massachusetts, Pegasus Communications, 1990. Publicado por primera vez en 1968, es el primer texto introductorio a la dinámica de sistemas.

Laszlo, Ervin, *A Systems View of the World,* Cresskill, Nueva Jersey, Hampton Press, 1996.

Richardson, George P., *Feedback Thought in Social Science and Systems Theory*, Filadelfia, University of Pennsylvania Press, 1991. La larga, variada y fascinante historia de la noción de retroalimentación aplicada a la teoría social.

Sweeney, Linda B. y Dennis Meadows, *The Systems Thinking Playbook*, 2001. Una recopilación de treinta ejercicios de juego que sirven para ilustrar algunas lecciones relacionadas con la teoría de sistemas y los modelos mentales.

Organizaciones, páginas web, revistas y programas informáticos

Creative Learning Exchange [Intercambio de Aprendizaje Creativo]: organización dedicada al fomento de «ciudadanos sistémicos» en la educación primaria y secundaria. Publican un boletín informativo y libros para profesores y alumnos. www.clexchange.org

isee systems, Inc.: la empresa que ha desarrollado los programas STELLA e iThink para la modelización de sistemas dinámicos. www.iseesystems.com.

Pegasus Communications: publica dos boletines informativos, *The Systems Thinker* y *Leverage Points*, así como numerosos libros y otros recursos sobre teoría de sistemas. www.pegasus.com.

System Dynamics Society [Asociación de Dinámicas de Sistemas]: un foro internacional para investigadores, educadores, asesores y profesionales dedicados al desarrollo y al uso de la teoría de sistemas en todo el mundo. La asociación publica una revista oficial, *Systems Dynamics Review*. www.Systemdynamics.org.

Ventana Systems, Inc.: la empresa que ha desarrollado el programa Vensim para la modelización de sistemas dinámicos. vensim.com.

Teoría de sistemas y empresa

Senge, Peter, *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*, Nueva York, Doubleday, 1990. Teoría de sistemas en un entorno empresarial. Ofrece, además, herramientas filosóficas más generales derivadas de la teoría de sistemas que representan un buen complemento para esta disciplina, como la flexibilidad y la visión de los modelos mentales.

Sherwood, Dennis, *Seeing the Forest for the Trees: A Manager's Guide to Applying Systems Thinking*, Londres, Nicholas Brealey Publishing, 2002.

Sterman, John D., *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, Boston, Irwin McGraw Hill, 2000.

Teoría de sistemas y medio ambiente

Ford, Andrew, *Modeling the Environment*, Washington, DC, Island Press, 1999.

Teoría de sistemas, sociedad y cambio social

Macy, Joanna, *Mutual Causality in Buddhism and General Systems Theory*, Albany, Nueva York, Stat University of New York Press, 1991.

Meadows, Donella H., *The Global Citizen*, Washington, DC, Island Press, 1991.

Índice

Portada
Pensando en sistemas
Nota de la autora
Nota de la editora
Introducción. La lente de los sistemas
Parte I. Estructura y comportamiento de los sistemas
    01. Principios básicos
    02. Una visita rápida al zoo de los sistemas
Parte II. Los sistemas y nosotros
    03. Por qué los sistemas funcionan tan bien
    04. Por qué los sistemas nos sorprenden
    05. Trampas… y oportunidades de los sistemas
Parte III. Provocar cambios. En los sistemas y en nuestra filosofía
    06. Puntos de influencia. Dónde intervenir en un sistema
    07. Vivir en un mundo de sistemas
Bibliografía de recursos de teoría de sistemas
Sobre este libro
Sobre Donella Meadows
Créditos

Pensando en sistemas

En los años posteriores a su papel como autora principal del bestseller internacional, «Límites del crecimiento», el primer libro que muestra las consecuencias del crecimiento descontrolado en un planeta finito, Donella Meadows siguió siendo una pionera del análisis ambiental y social hasta su prematura muerte en 2001.

Este manual esencial lleva el pensamiento sistémico fuera del ámbito de las computadoras y las ecuaciones al mundo tangible, mostrando a los lectores cómo desarrollar las habilidades del pensamiento sistémico que los líderes de pensamiento de todo el mundo consideran fundamentales para la vida del siglo XXI.

Algunos de los mayores problemas que enfrenta el mundo — guerra, hambre, pobreza y degradación ambiental— son esencialmente fallos del sistema. No pueden resolverse arreglando una pieza de forma aislada de las demás, porque incluso los detalles aparentemente menores tienen un enorme poder para socavar los mejores esfuerzos de un pensamiento demasiado estrecho.

Si bien los lectores aprenderán las herramientas conceptuales y los métodos del pensamiento sistémico, el corazón del libro es más grandioso que la metodología. Donella Meadows era conocida tanto por cultivar resultados positivos como por profundizar en la ciencia detrás de los dilemas globales. Ella les recuerda a los lectores que presten atención a lo que es importante, no solo a lo cuantificable, que se mantengan humildes y sigan aprendiendo.

En un mundo cada vez más complicado, abarrotado e interdependiente, ‘Pensando en sistemas’ ayuda a los lectores a evitar

la confusión y la impotencia, el primer paso para encontrar soluciones proactivas y eficaces.

Donella Meadows. Científica ambiental, maestra y escritora estadounidense. Autora de «Límites al crecimiento» y «Pensando en sistemas». Estudió Química y un doctorado en Biofísica. Después se convirtió en investigadora del MIT. Dio clases en el Dartmouth Collage durante 29 años. En 1981 fundó el INRIC (Red Internacional de Centros de Información de Recursos), un proceso global de mecanismos de colaboración y para compartir información entre cientos de académicos, investigadores y activistas del movimiento de desarrollo sostenible. Su columna «El ciudadano global», fue nominada al Pulitzer en 1991.

Título original: *Thinking in Systems* (2008)

© Del libro: Donella H. Meadows
© De la traducción: Jaime Blasco
Edición en ebook: abril de 2022

© Capitán Swing Libros, S. L.
c/ Rafael Finat 58, 2º 4 - 28044 Madrid
Tlf: (+34) 630 022 531
28044 Madrid (España)
contacto@capitanswing.com
www.capitanswing.com

ISBN: 978-84-12528-51-0

Diseño de colección: Filo Estudio - www.filoestudio.com
Corrección ortotipográfica: Carlos Vidania
Composición digital: leerendigital.com

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.